

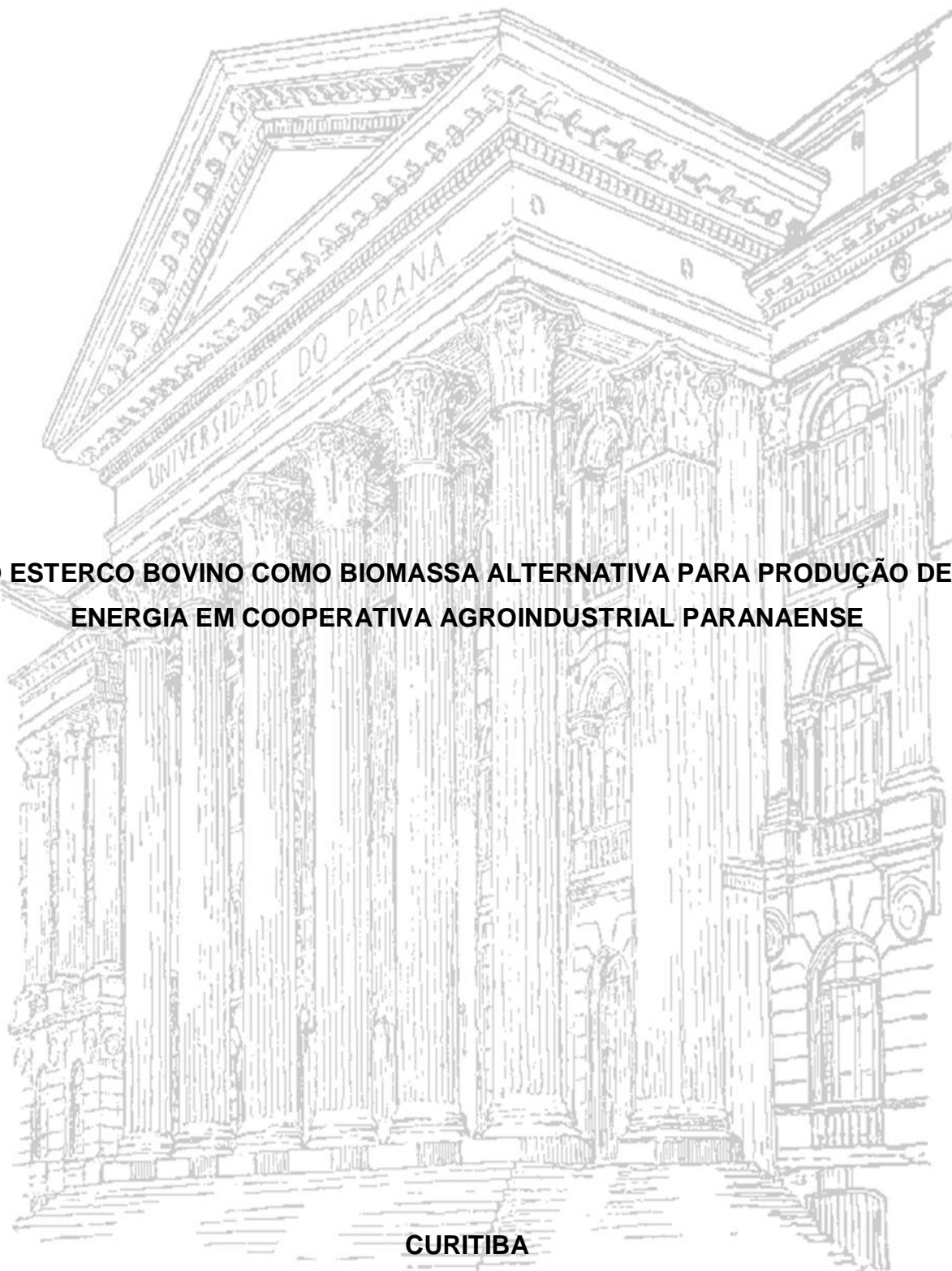
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**CYMARA REGINA OSHIRO**

**O ESTERCO BOVINO COMO BIOMASSA ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE  
ENERGIA EM COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL PARANAENSE**

**CURITIBA**

**2015**



CYMARA REGINA OSHIRO

O ESTERCO BOVINO COMO BIOMASSA ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE  
ENERGIA EM COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL PARANAENSE

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em  
Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial  
à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador:

Profº Dr. Roberto T. Hosokawa

Co-orientadores:

Profº Dr. Dimas Agostinho da Silva

Profº Dr. João Carlos Garzel Leodoro da Silva

Profº Dr. Nelson Nakajima

CURITIBA

2015

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Oshiro, Cymara Regina

O esterco bovino como biomassa alternativa para produção de energia em cooperativa agroindustrial paranaense / Cymara Regina Oshiro. – Curitiba, 2015. 150 f. : il.

Orientador: Profº Dr. Roberto T. Hosokawa

Coorientadores: Profº Dr. Dimas Agostinho da Silva, Profº Dr. João Carlos Garzel Leodoro da Silva, Profº Dr. Nelson Nakajima

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 14/08/2015.

Área de concentração: Economia e Política Florestal.

1. Biocombustíveis. 2. Bovino - Esterco. 3. Eucalyptus grandis. 4. Viabilidade econômica. 5. Teses. I. Hosokawa, Roberto Tuyoshi. II. Silva, Dimas Agostinho. III. Silva, João Carlos Garzel Leodoro da. IV. Nakajima, Nelson. V. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. VI. Título.


CDD – 634.9

CDU – 634.0.548


**PARECER**

Defesa nº. 1123

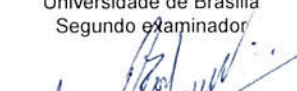
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Cymara Regina Oshiro* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**O ESTERCO BOVINO COMO BIOMASSA ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA EM COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL PARANAENSE**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **ECONOMIA E POLÍTICA FLORESTAL**.




Dr. Thais E. de Oliveira Lima  
Faculdade de Pinhais  
Primeiro examinador



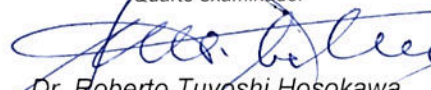
Dr. Humberto Angelo  
Universidade de Brasília  
Segundo examinador



Dr. Amadeu Bona Filho  
Universidade Federal do Paraná  
Terceiro examinador



Dr. Dimas Agostinho da Silva  
Universidade Federal do Paraná  
Quarto examinador



Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 14 de agosto de 2015.



Antonio Carlos Batista  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

***À minha filha Laura, o melhor dos motivos para eu seguir em frente e que tem me mostrado que temos sempre algo novo a aprender e a viver.***

## **AGRADECIMENTOS**

A busca pelo conhecimento me proporcionou o encontro de pessoas incríveis que muitas vezes me auxiliaram, apoiaram e ensinaram muito mais do que teorias como também a trilhar o meu caminho com passos muito mais seguros. Muitos são verdadeiros heróis urbanos, pois tudo o que me proporcionaram o fizeram sem mesmo se darem conta do quão importante foram e têm sido para mim.

Citar o nome de cada um é quase impossível, mas agradeço de forma geral a todos aqueles que direta ou indiretamente me apoiaram neste caminhar.

Com todo o carinho e respeito, agradecimentos especiais:

Aos meus orientadores e grandes Mestres, Prof. Dr. Roberto Hosokawa, Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva, Prof. Dr. João Carlos Garzel Leodoro da Silva e Prof. Dr. Nelson Nakajima, sem os quais não teria conseguido adquirir o conhecimento necessário para finalizar mais esta etapa de vida.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da UFPR. Considerações especiais aos professores Alessandro Camargo Ângelo, Yoshiko S. Kuniyoshi, Franklin Galvão e Carlos V. Roderjan, que me mostraram outras formas de “ver” a vida.

À secretaria da Pós Graduação em Engenharia Florestal, aos colegas do Laboratório de Energia da Biomassa, às empresas CAPAL Cooperativa Agroindustrial de Arapoti e EMG do Brasil por me permitirem a coleta de dados e a realização dos testes necessários à pesquisa, e demais amigos do convívio acadêmico, por todo o incentivo e companheirismo destes anos.

Agradeço especialmente ao Prof. Humberto Ângelo que muito contribuiu para a correção e formatação final deste trabalho.

À minha família e a todos os meus amigos pela paciência, incentivo, parceria e momentos compartilhados.

***" Só existem dois dias no ano que nada pode ser feito.***

***Um se chama ontem e o outro se chama amanhã,***

***Portanto, hoje é o dia certo para amar, acreditar,***

***fazer e, principalmente, viver."***

***Dalai Lama***

## RESUMO

A crescente demanda por alimentos e energia determinou o aumento da produção animal, agrícola e florestal, possibilitada pela atuação direta e indireta na eficiência das cadeias produtivas envolvidas. No atendimento à demanda energética a madeira é uma importante fonte sustentável, amplamente utilizada em sistemas de combustão direta ou na produção de vapor. Porém, o rol de produtos que utilizam a madeira como matéria prima cria uma alta competitividade entre as empresas e uma grande variabilidade de preços. Já o esterco bovino, considerado como resíduo animal tem uso ancestral delimitado por questões culturais. O uso do esterco como fonte de energia nos atuais sistemas produtivos tem restrição quanto ao grande volume em alta umidade produzido nos sistemas intensivos de criação. Esta pesquisa buscou aliar a necessidade de energia para a alimentação de caldeiras vapor com a alta produção de resíduos da pecuária leiteira. A fim de verificar a viabilidade de uso do esterco bovino para substituir a madeira em caldeira de uma cooperativa paranaense, foram analisadas e comparadas as propriedades energéticas do esterco e do *Eucalyptus grandis*. Para verificar a viabilidade econômica da utilização do esterco foi utilizada a tecnologia de vaporização para a redução da umidade do esterco para 15% e a análise de custos unitários do fornecimento calórico da madeira e do esterco. Os resultados apontaram a viabilidade técnica de substituição da madeira pelo esterco bovino em uma relação de 1:1,3, tendo o esterco alcançado o Poder Calorífico Superior de 3125 kcal/kg contra 4530 kcal/kg da madeira de eucalipto utilizado na cooperativa. O esterco após o processo de vaporização pode aumentar em 30% o valor por caloria fornecida em relação à madeira, salvo se os produtores entregassem sem custo o excedente de esterco para a cooperativa. Por outro lado, a utilização do esterco reduz a pressão ambiental nos ambientes rurais e o uso energético pode ainda diminuir a área mobilizada pelo estoque de madeira e criar independência da variação dos preços da madeira em regiões de alta demanda.

Palavras-chave: Propriedades energéticas do esterco. Biomassa para energia.  
Análise de custos unitários de energia.



# THE CATTLE MANURE AS AN ALTERNATIVE BIOMASS FOR ENERGY IN A AGROINDUSTRIAL COOPERATIVE PRODUCTION OF PARANA

## ABSTRACT

The progressive demand for food and energy was determined by the increase of food production, agriculture and forestry, made possible by the direct and indirect actions in the efficiency of production chains involved. Wood is an important sustainable source to attend the energy demand, widely used in direct combustion systems or steam production. However, the wide range of products that use wood as raw material creates a high competitiveness between companies and a large variability of prices. Cattle manure has been considered as an animal waste but had different uses since ancient time delimited by cultural issues. Nowadays the use of manure as an energy source has restrictions because of the large volume at high humidity produced in intensive farming systems. This research was established to combine the need for energy to power steam boilers with high waste production of dairy cattle. In order to verify the possibility of using cow manure to replace the wood into boilers of a cooperative system of Paraná, Brazil, the energetic properties of manure and *Eucalyptus grandis* were analyzed and compared. The economic viability for the use of manure as energy source was verified by the use of vaporization technology to reduce manure moisture content to 15% and using the analysis of unit costs of heat supply of wood and dung. The results showed that is technically possible of replacing the wood by cow manure in the ratio of 1: 1.3. The high heating value for cow manure reached 3125 kcal/kg against 4530 kcal/kg for Eucalyptus wood. The manure after the vaporization process can increase by 30% the value per calorie provided in relation to the timber, unless the manure should be provided to the cooperative system without cost. Furthermore, the use of manure reduces environmental pressure in rural environments and energy use can further reduce the area occupied by the stock timber and create independence on variation of wood prices in high-demand regions.

Key words: Cow manure energy properties. Biomass for energy. Cost analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2-1 - MANIPULAÇÃO E USO DE ESTERCO EM OUTRAS CULTURAS...	23
FIGURA 2-2 – ESTERCO BOVINO – RECOLHIMENTO EM SISTEMA “FREE STALL” .....	23
FIGURA 2-3 – ESTERCO BOVINO EM DISPERSÃO NO AMBIENTE.....	23
FIGURA 3-1 – LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES DA CAPAL; ÁREA DE RECEPÇÃO E SECAGEM DE GRÃOS– COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL DE ARAPOTI-PR. .....	49
FIGURA 3-2 – CALDEIRA CAPAL – ALIMENTAÇÃO DA FORNALHA .....	50
FIGURA 3-3 – LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS GRANJAS LEITEIRAS DE COOPERADOS DA CAPAL .....	51
FIGURA 3-4 - ILUSTRAÇÃO DE PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DE MADEIRA .....	52
FIGURA 3-5 - ESTOQUE DE TORETES DE MADEIRA NO PÁTIO DA CAPAL (JULHO 2013) .....	53
FIGURA 3-6 – PÁTIO DE ESTOQUE DE MADEIRA PARA ENERGIA DOS SECADORES E CALDEIRAS .....	53
FIGURA 3-7 – EXEMPLO DE COLETA DE ESTERCO FRESCO (DO DIA) .....	54
FIGURA 3-8 – ESTERQUEIRAS DE DUAS GRANJAS LEITEIRAS VISITADAS .....	55
FIGURA 3-9 – DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE ESTERCO PARA AS ANÁLISES LABORATORIAIS .....	55
FIGURA 3-10 – SUBAMOSTRAS DE ESTERCO FRESCO E DAS ESTERQUEIRAS PARA CONTROLE.....	56
FIGURA 3-11 – AMOSTRAS DE ESTERCO SUJEITAS A AÇÃO AMBIENTAL.....	56
FIGURA 3-12 – CENÁRIO PARA TRATAMENTO DO ESTERCO. ....	59

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1 – DEFINIÇÕES E DIVISÕES DOS CUSTOS DE ESTOQUE SEGUNDO BALLOU (2006):.....	35
TABELA 2-2 – PREÇOS FLORESTAIS NO PARANÁ EM R\$/m <sup>3</sup> * .....	37
TABELA 4-1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI), CARBONO FIXO (CF), MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) E CINZAS (CZ) DO ESTERCO BOVINO DAS PROPRIEDADES RURAIS AMOSTRADAS EM TRÊS TRATAMENTOS (ESTERCO FRESCO - EF, ESTERCO DE ESTERQUEIRAS SOBCONTROLE – ES E ESTERCO DE ESTERQUEIRAS EM AMBIENTE NATURAL - ET). .....	66
TABELA 4-2 TESTE DE MÉDIAS PARA PCS, PCI, CF, MV E CZ DO ESTERCO...	67
TABELA 5-1 RESULTADO MÉDIO DAS ANÁLISES DE UMIDADE DO <i>Eucalyptus grandis</i> E DO ESTERCO.....	79
TABELA 5-2 MÉDIA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR - PCS, PODER CALORÍFICO INFERIOR - PCI, CARBONO FIXO - CF, MATERIAIS VOLÁTEIS - MV E CINZAS - CZ PARA O <i>Eucalyptus grandis</i> E ESTERCO, EM BASE SECA. ....	80
TABELA 5-3 MÉDIA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CARBONO, HIDROGÊNIO, OXIGÊNIO, NITROGÊNIO E ENXOFRE PARA O <i>Eucalyptus grandis</i> E O ESTERCO EM BASE SECA. ....	82
TABELA 6-1 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (%), PODER CALORÍFICO MÉDIO DAS AMOSTRAS DE ESTERCO EM BASE SECA (kcal/kg) E MASSA ESPECÍFICA EM BASE ÚMIDA .....	90
TABELA 6-2 – VOLUME ESTIMADO DE BIOMASSA ANIMAL NAS FAZENDAS DE COOPERADOS DA CAPAL. ....	93
TABELA 6-3 – POTENCIAL ENERGÉTICO DO ESTERCO BOVINO DISPONÍVEL EM FUNÇÃO DA UMIDADE BS.....	93
TABELA 7-1 – COMPOSIÇÃO DOS ITENS DE CUSTO DE ARMAZENAGEM DA MADEIRA PARA ENERGIA .....	102
TABELA 7-2 – VALORES DOS PNEUS UTILIZADOS PARA CÁLCULO .....	104

TABELA 7-3 - % DE ENCARGOS E BENEFÍCIOS INCIDENTES SOBRE SALÁRIOS .....	106
TABELA 7-4 – CUSTO DE ARMAZENAGEM DA MADEIRA PARA ENERGIA .....	108
TABELA 8-1 – LEVANTAMENTO DE PREÇOS DE ADUBO N:P:K 10:10:10, URÉIA 40% N E ADUBO ORGÂNICO (RESTOS DE VEGETAIS DECOOMPOSTOS) .....	120
TABELA 8-2 – EQUIVALÊNCIA DE PREÇOS DE MERCADO PARA O ESTERCO BOVINO .....	121
TABELA 9-1 – RELAÇÃO DE INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTO DE VAPORIZAÇÃO. ....	133
TABELA 9-2 – DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS .....	133
TABELA 9-3 – VALORES DE CUSTO DO ESTERCO PARA ENERGIA.....	137

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	- Agência Nacional do Petróleo
CAPAL	- Cooperativa Agroindustrial de Arapoti
CEPEA	- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CIA	- Central Intelligence Agency
CNA	- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
DERAL	- Departamento de Economia Rural
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
ESALQ	- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
FAO	- Food and Agricultural Organization for United Nations
GLP	- Gás Liquefeito de Petróleo
IBÁ	- Indústria Brasileira de Árvores
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP-DI	- Índice Geral de Preços-Disponibilidade Interna
MDF	- Medium-Density Fiberboard
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
MME	- Ministério de Minas e Energia
NBR	- Norma Brasileira
OECD	- Organisation for Economic Co-operation and Development
SAS	- Statistical Analysis System
SEAB	- Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná
UFPR	- Universidade Federal do Paraná

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
	REFERÊNCIAS .....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	BIOMASSA FLORESTAL.....	19
2.3	QUALIDADE DA MADEIRA E DO ESTERCO PARA ENERGIA.....	28
2.4	O CUSTO DAS BIOMASSAS MADEIRA E ESTERCO BOVINO .....	34
2.4.1	Aspectos gerais dos custos e preços da madeira .....	36
2.4.2	Aspectos gerais do custo do esterco bovino .....	38
	REFERÊNCIAS .....	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	48
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA.....	48
3.2	AMOSTRAGEM.....	51
3.3	ANÁLISES TÉCNICAS E ECONÔMICAS .....	57
	REFERÊNCIAS .....	60
4	CAPÍTULO I - QUALIDADE DO ESTERCO BOVINO COMO FONTE DE ENERGIA .....	61
4.1	INTRODUÇÃO .....	62
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	63
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.4	CONCLUSÃO.....	70
	REFERÊNCIAS .....	71
5	CAPÍTULO II - O ESTERCO DE VACAS COMO FONTE ENERGÉTICA PARA SUBSTITUIÇÃO DA MADEIRA USADA EM CALDEIRA. ....	74
5.1	INTRODUÇÃO .....	75
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	76
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
5.3.1	Umidade .....	79
5.3.2	Poder calorífico e Análise Química Imediata .....	80
5.3.3	Composição Química Elementar .....	81
5.3.4	Potencial energético de substituição da madeira pelo esterco .....	83
5.4	CONCLUSÃO.....	83

REFERÊNCIAS .....	84
6 CAPÍTULO III – DISPONIBILIDADE POTENCIAL DE ESTERCO DA BOVINOCULTURA LEITEIRA PARA ENERGIA EM COOPERATIVA .....	87
6.1 INTRODUÇÃO .....	88
6.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	89
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	92
6.4 CONCLUSÃO .....	94
REFERÊNCIAS .....	94
7 CAPÍTULO IV – CUSTO DE ARMAZENAGEM DA MADEIRA PARA ENERGIA .....	97
7.1 INTRODUÇÃO .....	98
7.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	100
7.2.1 Consumo de madeira da cooperativa .....	101
7.2.2 Definição da variáveis de custo .....	101
A. Custo de aquisição de madeira para energia .....	102
A.1 Custo de compra da madeira .....	102
A.2 Custo de capital .....	102
B. Custo de manutenção do estoque .....	103
B.1 Depreciação: Equipamento – trator e implementos .....	103
B.2 Manutenção do trator e implementos .....	103
B.3 Custo de manutenção de pneus .....	104
B.4 Custo de combustível e lubrificantes .....	104
B.5 Salários – tratorista e ajudantes .....	105
B.6. Custo de seguro .....	106
B.7 Custo de área ocupada pelo estoque/m <sup>3</sup> .....	107
C. Custos administrativos .....	107
C.1 Custo de armazenagem da madeira para energia .....	108
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	108
7.3.1 Avaliação econômica da madeira para energia .....	108
7.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	111
REFERÊNCIAS .....	112
8 CAPÍTULO V – O CUSTO OPORTUNIDADE DO ESTERCO DE GADO LEITEIRO .....	115
8.1 INTRODUÇÃO .....	116
8.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	117

8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	119
8.3.1 Valoração do esterco como fertilizante.....	119
8.3.2 Valoração do esterco como fonte de energia .....	120
8.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	122
REFERÊNCIAS .....	123
9 CAPÍTULO VI – ANÁLISE DE CUSTO DO USO DE EQUIPAMENTO	
VAPORIZADOR PARA REDUÇÃO DA UMIDADE DO ESTERCO.....	126
9.1 INTRODUÇÃO .....	127
9.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	128
9.2.1 Referencial teórico.....	128
9.2.2 Levantamento de dados .....	131
9.2.3 Análise de custo do esterco para energia com a utilização de equipamento de vaporização .....	132
9.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	136
9.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO .....	139
9.5 AGRADECIMENTOS .....	139
REFERÊNCIAS.....	140
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	144



## 1 INTRODUÇÃO

As novas projeções demográficas para 2050 indicam que a Terra deverá comportar 9,5 bilhões de pessoas, o que acarretará em aumento da demanda por alimentos em mais de 60% tendo como consequência um maior consumo de energia para os processos produtivos e o aumento da geração de resíduos (FAO, 2014; OECD-FAO, 2012).

Historicamente, o desenvolvimento das civilizações seguiu paralelo à disponibilidade de fontes energéticas e durante séculos a madeira foi a principal fonte de energia até a sua substituição por combustíveis fósseis. A industrialização dos países desenvolvidos triplicou a demanda energética nos últimos 50 anos, com perspectivas de triplicar novamente nos próximos 30 em função da industrialização dos países em desenvolvimento. No Brasil, esta demanda deve dobrar até 2050 (ODUM, 1988; HINRICHS & KLEINBACH, 2003; IEA, 2013).

A participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira em 2014 foi de 39,4%, onde a lenha e carvão vegetal participaram com 8,1% da oferta interna. As condições hidrológicas desfavoráveis promoveram a redução da oferta de energia hidráulica, caindo de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013 e 65,2% em 2014. Dessa forma houve a necessidade do aumento da geração térmica que no caso de usinas à base de biomassas chegou a +14,1%. Estas já respondem por 7,3% da oferta interna de energia elétrica, incluindo os autoprodutores, representados principalmente pela cogeração das atividades sucroalcooleiras (EPE, 2015).

No Brasil consumiu-se 190,06 milhões de m<sup>3</sup> de madeira proveniente de plantio florestal em 2014 onde 22,24 milhões de m<sup>3</sup> correspondeu à produção de eucalipto para lenha industrial e carvão vegetal. Os preços dos produtos de base florestal entre 2013 e 2014 tiveram variações positivas, dos quais 10,5% para o carvão vegetal, 6,6% para a madeira em tora de eucalipto, e 3% para o cavaco. A variabilidade de preço da madeira, em função das diferentes finalidades e da competitividade do setor, permite ao silvicultor e empresas do ramo um melhor planejamento da produção e da colocação de seus produtos no mercado (IBÁ, 2015).

A madeira como matéria energética sustentável pode ser substituída por outros resíduos orgânicos provenientes das culturas agropecuárias e florestais, mas apresentam restrições com relação à dependência da sazonalidade das culturas, volume de produção, custos logísticos e características energéticas da biomassa (MME/ANEEL, 2014).

Neste contexto, o esterco bovino não tem sazonalidade e sua produção é constante, sendo normalmente utilizado na reposição de nutrientes do solo. Porém, em condições e dosagens inadequadas pode causar impermeabilização, indisponibilização de nutrientes para as plantas ou pode ser lixiviado causando eutrofização de corpos d'água. A utilização do esterco como fonte de energia é ancestral em seu contexto, mas, dada as condições de confinamento e de manejo dos animais, ocorre um acúmulo de grande volume de esterco, urina, resíduos de alimentação e água proveniente de processos de limpeza dos estábulos, o que resulta em um resíduo de alto percentual de umidade, inviabilizando seu uso energético.

O rebanho bovino nacional é de 211,76 milhões de cabeças onde 10,8% correspondem a vacas em regime de ordenha, com aumento considerável da produção leiteira em face de mudanças de hábitos de consumo da população (IBGE, 2014; GALAN, 2014). A produção de resíduos da produção leiteira é crescente, ainda mais quando considerado o sistema de manejo em confinamento das vacas e a produção média diária de 40 kg de esterco por animal (KONZEN e ALVARENGA, 2005; LUCAS e SILVA, 2005), perfazendo um potencial de geração de 914.820 toneladas de esterco no Brasil diariamente, que poderia ter seu uso parcial ou total para a geração de energia.

Esta pesquisa é de natureza aplicada em função da obtenção de conhecimento e aplicação prática, direcionado à solução de um problema específico: a alta produção de esterco nas granjas produtoras de leite. Tem como forma de abordagem do problema a pesquisa quali-quantitativa, utilizando dados mensuráveis e analisando o contexto geral da interação entre os resultados obtidos, os aspectos ambientais e institucionais (granjas e cooperativa).

Assim sendo, considerando a alta variabilidade de preço da madeira para energia em uma região detentora de alta demanda de matéria prima de origem florestal e de grande volume excedente de esterco produzido nas fazendas leiteiras, foi realizado o presente trabalho que trata da viabilidade técnica e econômica para a

substituição de madeira de eucalipto por esterco bovino como fonte de energia em caldeiras para a produção de vapor. Em especial, buscou-se:

- Estimar, conforme as características produtivas das fazendas leiteiras, a disponibilidade de esterco bovino proveniente das fazendas de cooperados, para uso energético na cooperativa;
- Comparar as propriedades energéticas do esterco bovino proveniente de fazendas leiteiras com a madeira de eucalipto utilizada nas caldeiras da cooperativa CAPAL Agroindustrial de Arapoti - PR;
- Verificar a influência do manejo das fazendas na qualidade energética do esterco;
- Estimar o custo da energia da biomassa florestal (madeira de eucalipto) utilizada na caldeira;
- Estimar o custo da energia para a caldeira com o uso da tecnologia de vaporização para a redução da umidade do esterco bovino.

Em virtude da complexidade do trabalho e da ausência de informações, principalmente com relação ao uso do esterco para energia, inicialmente foram contatados produtores da região de Arapoti – Paraná, importante bacia leiteira do Estado. Estes produtores indicaram a cooperativa local que forneceu os dados para o cálculo de custo econômico propostos na pesquisa. Paralelamente buscou-se por tecnologias para o processamento do esterco bovino e condições de realização dos ensaios necessários para a conclusão do objetivo proposto.

A fim de facilitar a compreensão dos resultados, na divisão do trabalho primeiramente realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os vários temas tratados na tese, permitindo ao leitor uma maior interação dos assuntos relacionados e detalhamentos dos materiais e metodologias utilizadas. Na sequência os objetivos do presente trabalho foram respondidos em capítulos:

CAPÍTULO I - QUALIDADE DO ESTERCO BOVINO COMO FONTE DE ENERGIA

CAPÍTULO II - O ESTERCO DE VACAS COMO FONTE ENERGÉTICA PARA SUBSTITUIÇÃO DA MADEIRA USADA EM CALDEIRA.

CAPÍTULO III – DISPONIBILIDADE POTENCIAL DE ESTERCO DA BOVINOCULTURA LEITEIRA PARA ENERGIA EM COOPERATIVA

CAPÍTULO IV – CUSTO DE ARMAZENAGEM DA MADEIRA PARA ENERGIA

CAPÍTULO V – O CUSTO OPORTUNIDADE DO ESTERCO DE GADO LEITEIRO

CAPÍTULO VI – ANÁLISE DE CUSTO DO USO DE EQUIPAMENTO

VAPORIZADOR PARA REDUÇÃO DA UMIDADE DO ESTERCO

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisas Energéticas. **Balanco Energético Nacional, 2014.**

CIA - Central Intelligence Agency, **The World Factbook** (2013) –. United States of America. Disponível em: <<http://www.cia.gov>> Acesso em 4/02/2014.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2015:** Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2015.

FAO. OECD-FAO (2012). “Dairy”. In OECD-FAO **Agricultural Outlook 2012**. OECD Publishing. Disponível em: < <http://goo.gl/5U2E6j>> Acesso em 29/09/2014.

GALAN, Valter B. O crescimento chinês do leite brasileiro. **Boletim Milk Point** em 3/07/2014. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br> Acesso em 23/11/2014.

HINRICHS, R. A. e KLEINBACH, M.. **Energia e meio ambiente**. 3ª edição, Editora Pioneira Thomson Learning, São Paulo-SP, 2003.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2015**. Elaborado por Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios Ltda. Disponível em: <<http://www.iba.org>> Acesso em 10/11/2015.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2013**. Volume 41 , p. 1-108. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 19/01/2015

KONZEN, E. A. e ALVARENGA, R. C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agronômicos e ambientais. EMBRAPA, **Circular técnica** nº 63. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, Sete Lagoas – MG. Dezembro, 2005.

LUCAS, J.J.; SILVA, F.M. **Biogás, produção e utilização**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2005, 8p.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro-RJ, 1988.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIOMASSA FLORESTAL

A biomassa florestal é uma fonte renovável e quando usada para energia tem balanço nulo no efeito estufa (EMBRAPA, 2009). As tendências econômicas, sociais e ambientais são forças externas que afetam diretamente a demanda por madeira, promovendo a competição no mercado por matéria prima, havendo ligações diretas entre a produção florestal, as indústrias do segmento florestal e de energia, e as indústrias que utilizam a madeira ou subprodutos como os segmentos de papel e celulose, siderurgia e agroindústria, altamente dependentes desta biomassa (FAO, 2011; EMBRAPA, 2009).

O setor florestal é bastante amplo e envolve uma cadeia produtiva complexa, o que dificulta a adaptação dos plantios às mudanças e demandas setoriais, principalmente por possuir um ciclo de produção mais lento que o crescimento do consumo e porque compete por recursos básicos (terra, trabalho e capital). A relação entre espaço x tempo se torna importante para a produção por poder promover mudanças tecnológicas ou de tendências de demanda (SCHNEIDER, 2008).

O Brasil tem 8.515.767 km<sup>2</sup> onde está contido 9,36 milhões de hectares de plantios florestais e destes, em 2014, quase 7 milhões de hectares são de plantios de eucalipto, espécie de rápido crescimento, diversidade de uso, alta densidade, produtividade e massa específica da madeira (BRAND, 2010), utilizada em multiprodutos: produção de óleos essenciais, produtos apícolas, celulose e papel, madeira serrada, postes e moirões, laminados, painéis, carvão e lenha.

A produção primária do setor florestal, em 2014, atingiu a soma oficial de R\$ 20,8 bilhões sendo a participação da silvicultura em 77,7% e o extrativismo vegetal em 22,3%. Durante o período de 2005 a 2014, a extração anual de madeira proveniente de florestas plantadas aumentou em 52,6% e a extração de madeira nativa reduziu em 58% no mesmo período. Do total de 238,6 milhões de m<sup>3</sup> produzidos 23,5% foram destinados para o uso energético (IBGE, 2014).

A produção agroindustrial é altamente dependente da madeira como fonte de energia, associada ao crescimento da atividade agrícola para a secagem de grãos e movimentação de caldeiras (ROCHA e KLITZKE, 1993; BELL, 2013). A lenha, diferentemente do uso de outras biomassas para energia em caldeiras, é preferível para a secagem de grãos em função de seu poder calorífico e baixo custo, e por não afetar as qualidades sensoriais dos grãos (CORTEZ *et. al.*, 2008).

O Brasil é ainda autossuficiente na produção diante do consumo interno de lenha. Porém, no Estado do Paraná, a previsão de expansão média da produção agrícola gira em torno de 15,8%, tendo como consequência um aumento esperado de 9,9% (área mínima de 70 mil hectares) de área florestal somente para atender a demanda energética para a secagem de grãos (BELL, 2013). Os produtores, principalmente os pequenos, tendem a cortar e vender diretamente a lenha ou vendem produtos para serraria (como opcional) dependendo dos valores praticados na área onde se localizam e da disponibilidade de aguardar por melhores condições para venda (IBÁ, 2015).

O consumo de madeira em toras, de maneira geral, tem crescido para todos os segmentos. As variações anuais de oferta e demanda, bem como as variações cambiais não tem afetado de forma significativa o valor bruto da produção florestal. Já o mercado de lenha industrial é de difícil avaliação havendo grandes divergências nos dados de produção, consumo e preços praticados (BELL, 2013).

O uso de resíduos para a obtenção de energia apresentam entraves tecnológicos, sociais e culturais, principalmente no que se refere à irregularidade do fornecimento e os fatores econômicos associados (custo de coleta, transporte e armazenamento, valoração, política de incentivos) (ALVIM *et al.*, 1999). Mas, no caso de produtos de origem florestal, desde que o planejamento seja realizado com rigor, o problema de abastecimento não existe, principalmente para empresas detentoras de reflorestamento próprio (BRONOSKI, 2007).

## 2.2 O ESTERCO BOVINO COMO BIOMASSA ENERGÉTICA

### 2.2.1 Aspectos gerais da criação de gado leiteiro

O rebanho bovino nacional foi estimado em 211,76 milhões de cabeças em 2013, distribuído por todo o Território Nacional. A maior parte do efetivo rebanho bovino é composta por gado de corte e 10,8% corresponde a vacas em regime de ordenha com a produção registrada de 34,25 bilhões de litros de leite, o que correspondeu a um Valor Bruto de Produção de R\$ 32,41 bilhões em 2013 (IBGE 2014).

O sucesso da cadeia produtiva do leite, segundo Rodrigues F<sup>o</sup> e Azevedo (2005), depende de vários fatores (genética, conforto ambiental, nutrição, manejo, etc.) e entre estes tem destaque as instalações, pois a partir destas que se estabelece o manejo, facilitando-o e influenciando diretamente na produtividade e na saúde animal. As instalações (estábulo, sala de ordenha, divisórias, cochos, etc.) devem ser construídas de acordo com o ambiente onde será instalado e com materiais ou recursos disponíveis, considerando os custos, durabilidade e funcionalidade, com o objetivo de amenizar as adversidades climáticas e aumentar a eficiência em: mão de obra, tempo, espaço e a renda do produtor (CECCHIN, 2012).

Em busca de uma melhor rentabilidade da produção, os fazendeiros têm utilizado os sistemas intensivos de criação onde os animais ficam confinados durante todo o período produtivo, recebendo alimentação balanceada (volumoso e ração), abrigando um maior número de animais em um espaço reduzido, permitindo um uso mais racional das áreas produtivas.

O sistema “*free stall*” é um dos sistemas de criação intensivo de bovinos leiteiros mais utilizados em fazendas de média e alta produção. O modelo permite ao animal livre acesso ao cocho e movimentação, possuindo área de repouso individual em “camas” onde as vacas permanecem deitadas por aproximadamente 12 horas por dia, necessitando de superfícies que evitem: o desconforto fisiológico, traumatismos, lesões e o desenvolvimento de doenças. As camas, portanto, devem ser confortáveis, higiênicas e duráveis, além de ter baixo custo e de necessitar da



mínima mobilização de mão de obra possível, as mais usadas são: camas de areia, terra, cepilho, serragem, capim seco e palhadas (CAMPOS, 2014; BROOM, 1991).

Segundo Perissinotto (2003), o sistema “*free stall*” apresenta como vantagens: redução do custo operacional, fácil mecanização, exercício regular do rebanho, facilidade para organizar diferentes manejos nutricionais e o recolhimento dos dejetos. Porém, tem um alto custo de construção, dificulta a atenção individualizada e promove maior competição entre os animais se os cochos não forem divididos e bem dimensionados, e em caso de falha no manejo de higienização, os animais ficam mais sujos e mais suscetíveis a doenças.

### 2.2.2 Manejo e utilização do esterco bovino

Historicamente, o esterco seco de origem animal era de uso cotidiano em tempos antigos na Pérsia e no Egito (Figura 1). A utilização do esterco como fonte de energia é citada na Bíblia Sagrada em Ezequiel 4,:12-15, onde fica claro que não se utilizavam fezes humanas para cocção, citada na Bíblia como forma de punição aos seres impuros, porém o esterco de vaca não significava punição e sim de uso comum (Editora Paulus, 1990):

“15 Pois bem, me disse, eu te permito trocar os excrementos humanos por **esterco de vaca, sobre o qual farás cozer o teu pão.**”

O esterco foi e ainda é utilizado por várias culturas e para diversos fins, desde o uso em paredes e pisos quando adicionados de argila, quanto para fins energéticos. A Figura 2-1 ilustra o uso do esterco usado como combustível em várias partes do mundo, especialmente onde não há disponibilidade de lenha. Como exemplos: bolos de esterco e resíduos de colheita foi fonte de 76,4% da energia bruta consumida nas áreas rurais do Egito em 1980, chamado de “*Jilla*”; na Índia o esterco bovino é manipulado como prática sagrada na preparação do “*komaya*”, como combustível (MLEKU, 2009; ARNOLD e JONGMA, 1978; MAITHEL, 2009).



**FIGURA 2-1 - MANIPULAÇÃO E USO DE ESTERCO EM OUTRAS CULTURAS.**

Fonte: Holy Bible 2014.

Nos atuais sistemas de produção animal (Figura 2-2) são acumulados grande quantidade de resíduos que antes, nos sistemas extensivos de criação, eram dispersos no ambiente (excrementos e gases nocivos) (Figura 2-3). Esses resíduos (dejetos, camas e restos de alimentação) muitas vezes são depositados indevidamente causando impactos ambientais, aumentando a emissão de gás carbônico, metano, amônia e nitratos, além de causarem eutrofização de fontes de água e poluição do solo (RIBEIRO *et al.* 2007).



**FIGURA 2-2 – ESTERCO BOVINO – RECOLHIMENTO EM SISTEMA “FREE STALL”**



**FIGURA 2-3 – ESTERCO BOVINO EM DISPERSÃO NO AMBIENTE.**

Um bovino adulto (média de 450 kg) consome aproximadamente 2,5% de seu peso em massa seca de forragem, ou seja, aproximadamente 50 kg de forragem verde por dia, com a conversão alimentar de apenas 30 a 40% (RIBEIRO *et al.*, 2007; KIEHL, 1985 *apud* KONZEN e ALVARENGA, 2005), gerando uma média diária de 30 kg de esterco em regime estabulado, ou 88,4 kg/dia na somatória de fezes e urina para vacas com produção diária de 45,6kg de leite, e 56,7 kg/dia de excretas para vacas de produção de 22,7kg de leite/dia (LUCAS e SILVA, 2005; VAN HORN *et al.*, 1994).

Konzen e Alvarenga (2005) estimaram a produção nacional aproximada de 1.760 milhões de toneladas de esterco bovino por ano. Porém, a volumetria dos dejetos bovinos depende das variáveis de manejo, portanto, os parâmetros volumétricos devem ser individuais, mensurados e dimensionados para cada criação.

As variáveis: raça, idade, sistema nutricional, disponibilidade de água, condições ambientais, sistema de manejo produtivo, entre outros, influenciam diretamente na quantidade de esterco produzido por animal e na composição química, alterando também as características finais do esterco depositado nas esterqueiras e as interações dos micro-organismos decompositores presentes, onde ainda ocorrem as interferências do tempo de tratamento e da umidade (SANTOS e NOGUEIRA, 2012; GILBERTSON, 1979; LUCAS JR e AMORIM, 2005).

A condução do manejo e a utilização posterior do esterco vão variar conforme a conveniência, recomendação técnica e o sistema de produção, podendo ser realizado sobre a matéria sólida, líquida ou semissólida, depositadas em lagoas de estabilização (aeróbias com ou sem aeração, e anaeróbias), sistema de compostagem ou combinação de técnicas. As alternativas de utilização são: adubo orgânico, geração de energia (produção de metano e combustão), a produção de alimentos e ração animal (ração para peixes), dependendo de fatores econômicos (custos de coleta, armazenamento e o valor de substituição por outras matérias primas), sociais, culturais, políticas de incentivos, disponibilidade de área e condições de armazenamento, que podem ou não viabilizar a utilização dos mesmos (ALVIM *et al.*, 1999).

As lagoas de estabilização são amplamente utilizadas pelos produtores de leite. Trata-se da condução do esterco para uma lagoa anaeróbia que quando cheia é transbordada para uma segunda lagoa de onde o esterco líquido é distribuído nas

culturas por sistemas de irrigação. As grandes desvantagens da utilização destas são as dimensões das áreas imobilizadas próximas aos estábulos, o tempo de retenção para fermentação, o mau cheiro, a proliferação de insetos e necessidade de remoção contínua do chorume e do lodo. Devendo ser considerado também os locais para aplicação do biofertilizante e as recomendações técnicas, podendo promover a saturação do solo (FERREIRA *et al.*, 2012).

O sistema de biodigestão anaeróbia (biodigestor) é um sistema eficiente de tratamento do esterco bovino gerando o biogás (como fonte de energia alternativa) e o biofertilizante. O processo reduz ou elimina os coliformes e estabiliza a matéria orgânica, sendo que aproximadamente 1 kg de esterco bovino pode produzir de 0,036 a 0,042 m<sup>3</sup> de biogás (RIBEIRO *et al.*, 2007). Embora o uso de biodigestores tenha sua eficiência comprovada ainda existem grandes dificuldades na implantação dos mesmos em: investimentos fixos, manutenção dos equipamentos, eficiência no manejo dos dejetos, gestão do processo e manutenção. Importante salientar que o uso do biogás para energia tem limitações tecnológicas para o funcionamento dos equipamentos (HARDOIM e GONÇALVES, 2003).

Segundo Castro e Cortez (1998) especial atenção deve ser dada com relação à temperatura ambiental adequada para o processo fermentativo que tem melhores resultados à 31°C em biodigestor rural modelo indiano. Porém Parsamehr (2012) aponta que a temperatura ideal para a bovinocultura leiteira se situa entre 5 a 25°C, com temperaturas ótimas na média de 16°C, o que prejudicaria a eficiência dos biodigestores. A raça holandesa, por exemplo, mantém a produção normal de leite em temperaturas ambientais efetivas entre 4 e 26°C, entrando em estado de stress calórico em temperaturas ambientais maiores (TINOCO e SOUZA, 2004). Ou seja, menores temperaturas ambientais médias necessitam de maior tempo de retenção para que a biodigestão se complete, consequentemente as dimensões do biodigestor devem ser maiores ou sistemas de aquecimento devem ser instalados.

Dessa forma, em regiões de clima mais ameno, o maior uso do esterco bovino encontra-se na reposição orgânica do solo após a estabilização dos componentes em lagoas, mas além das possíveis consequências já citadas, Alvim *et al.* (1999) alerta que as drogas veterinárias (antibióticos, quimioterápicos, hormônios, vacinas, etc.) de uso cotidiano em criações animais são liberados no ambiente através dos excrementos, podendo alterar o equilíbrio da microbiota do solo e da água. Os resíduos de antiparasitários, fornecidos regularmente aos animais de

produção, ao serem excretados nas fezes e urina, podem até mesmo extinguir os organismos decompositores presentes.

Os aditivos nutricionais das rações encontrados no esterco como: carbonatos e bicarbonatos ( $\text{CO}_3$  e  $\text{HCO}_3$  que têm por objetivo neutralizar a produção de ácidos no suco gástrico), hidróxido de cálcio ( $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  que aumentam a digestibilidade das silagens) e ácidos orgânicos dos grupos carboxil e hidroxil fenólico, acabam influenciando no aumento do pH e redução da acidez potencial do solo, atuando como substâncias tampão, podendo aumentar a adsorção de alguns elementos adicionados e reduzir a disponibilidade de alguns micronutrientes catiônicos como o Zn (BORGO, 2011). A contaminação por patógenos orgânicos como bactérias (Salmonelas e Enterobactérias) constitui risco para o produtor e para os consumidores (ALVIM *et al.*, 1999).

A necessária pesquisa dos componentes do solo e do biofertilizante para o devido ajuste de doses e de seu aproveitamento, a fim de minimizar os efeitos adversos da aplicação, é concordante com estudos realizados por Buckman e Brady (1976), Silva e Resck (1977) e Ferreira *et al.* (2012). Estes salientam que a alta relação de C/N (Carbono:Nitrogênio) dos estercos pode inibir o processo de decomposição da matéria orgânica, alterando a biodisponibilidade de N, e que condições desfavoráveis do solo podem proporcionar reações entre compostos, gerando outros compostos tóxicos para algumas plantas.

Silva *et al.* (2010) ressaltam que há dúvidas ainda sobre os efeitos da adubação com esterco a longo prazo, agravado ainda com o não revolvimento do solo após a aplicação por vários anos, e com a quantidade do composto lançado. Autores como Araújo *et al.* (2011), Ferreira *et al.* (2012), Alvim *et al.* (1999) e Cherobim (2013) concluem que o uso do esterco para reposição de nutriente do solo têm resultados positivos até um determinado limite de aplicação, em detrimento de perda de desempenho de produtividade, alterações de crescimento, decréscimo de massa seca total, perdas de solo, água e nutrientes, eutrofização de corpos hídricos e selamento superficial do solo por mecanismos físicos, químicos e biológicos, quando aplicados inadequadamente ou em concentrações não específicas para as necessidades culturais.

Outra disposição não usual no Brasil para o esterco é a utilização do mesmo na forma seca ou desidratada como cama. A utilização de matérias particuladas como o esterco seco, capim seco, serragem, areia, etc. para esta finalidade, implica

em maiores custos em material e mão de obra para reposição e troca constantes, além de poder aumentar os problemas sanitários do rebanho, com aumentos da população bacteriana em 24 horas após a colocação da cama (CECCHIN, 2012).

Foged (2012) exemplificou a solução dada pelo governo dinamarquês aos problemas ambientais instituindo a obrigatoriedade de utilização de até 50% do esterco para a geração de energia através dos processos de biodigestão, pirólise, gaseificação ou combustão, que segundo Serio *et al.* (2002) são as opções viáveis para a utilização energética dos esterco.

A pirólise é a degradação térmica de uma matéria orgânica na ausência total ou parcial de oxigênio, em temperaturas mínimas de 400°C, cujo objetivo é a obtenção de produtos com maior densidade energética, principalmente utilizada para a produção do carvão vegetal e produção de bio-óleo (GÓMEZ, 2009). No caso do esterco ainda não há estudos sobre a produção de carvão visto que o problema inicial que é a redução da umidade ainda não foi bem estudado em termos de viabilidade e tecnologias disponíveis.

A gaseificação é a liquefação indireta da biomassa, através de um processo de conversão térmica, onde a reação da biomassa com o oxigênio puro ou vapor e ar gera um gás composto de  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$  e  $H_2$ . Porém, esta tecnologia ainda é inviável economicamente (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

O processo de combustão ainda é o mais utilizado para as biomassas, na produção do calor direto para aquecimento ou indiretamente na geração de vapor em caldeiras. Ocorre através da queima da matéria prima através das reações de radicais livres mediante as quais o carbono e o hidrogênio da matéria reagem com o oxigênio formando dióxido de carbono, água e liberando calor.

Muitos centros de pesquisa buscam soluções para a conversão de resíduos animais em energia térmica e elétrica, considerando seus usos e benefícios como: menor preço, eficiência, redução da pressão local por recursos florestais e disponibilidade; ao qual afirmam que o modal energético é a solução mais segura, sustentável e renovável para a deposição dos resíduos (MLEKU, 2009).

## 2.3 QUALIDADE DA MADEIRA E DO ESTERCO PARA ENERGIA

A caracterização energética de biomassa depende de um grande número de variáveis, dessa forma, para a utilização de biomassas como combustível devem ser avaliadas as principais propriedades: umidade, poder calorífico, densidade e composição química elementar e imediata (SILVA e MORAIS, 2008; BRITO e BARRICHELO, 1978). Quéno (2009) observou que a utilização de biomassa para energia depende também dos níveis de cálcio, resíduos clorado, silício e nitrogênio, uma vez que altos teores de nitrogênio na biomassa pode gerar óxido de nitrogênio no processo de queima, cálcio e cloreto podem se transformar em elementos corrosivos e o silício interfere em adensamentos pelo poder abrasivo.

Para Moers *et al.* (2011) e Brito & Barrichelo (1978) a caracterização da biomassa é fundamental para a eleição do melhor uso e tecnologia de conversão, buscando avaliar a eficiência da metodologia e processo, bem como a relação de custo e benefício da alteração de uso. A caracterização deve estar baseada, além das propriedades já mencionadas, na granulometria, massa específica e análise somativa (teor de lignina, celulose e hemicelulose). Souza *et al* (2012) ainda complementam que devem ser consideradas as características dos processos de combustão, por influenciarem no rendimento e manutenção de equipamentos.

### 2.3.1 Umidade e densidade

Segundo Vidal & Hora (2011) a ineficiência dos processos de combustão direta se deve aos níveis de umidade intrínseca (20% ou mais no caso da lenha) e da baixa densidade energética (lenha, palha e outros resíduos), características que também dificultam o transporte e o armazenamento das biomassas em razão da necessidade de grandes volumes para a geração contínua de energia.

O teor de umidade da biomassa é o conteúdo de água que está presente na matéria e é uma das características mais importantes em sua utilização para energia, influenciando negativamente na produção de calor por unidade de massa.

Quanto maior o teor de umidade menor será o poder de combustão, pois a evaporação de umidade absorve a energia do processo (Brand, 2010).

Para a madeira a umidade pode variar de 46 a 133%, dependendo da espécie e de acordo com a parte da árvore (CARMO, 1996; OLIVEIRA *et al.*, 2005). O tempo entre o abate e a venda do material florestal, incluindo a forma de estocagem, empilhamento e as variações climáticas anuais também fazem variar o teor de umidade da madeira (GATTO *et al.*, 2003; BRAND, 2007).

Segundo Quirino *et al.* (2005) o máximo de umidade em base úmida da madeira que permite a combustão em forno é de 65%. Enquanto que Vale *et al.* (2000) e Farinhaque (1981) discorrem que a umidade deva estar abaixo de 25% para a produção de energia. Gatto *et al.* (2003) concluíram que 13,6% do poder calorífico de lenha são perdidos quando o processo de queima ocorre em umidade de 32%. Para a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) há a redução de 57% do poder calorífico quando a umidade altera de 0 para 80% (FARINHAQUE, 1981; SOUZA *et al.*, 2012).

O fator mais limitante da utilização do estercor para energia se deve à produção diária em altos teores de umidade que variam entre 80 a 98% dependendo das condições de manejo. Os altos teores de umidade também proporcionam uma alta densidade em base úmida devido à densidade da água livre presente e baixa densidade do estercor em base seca (LUCAS & SILVA, 2005; KONZEN & ALVARENGA, 2005)

A definição de densidade é a razão entre sua massa e seu volume. De forma geral pode ser definido como a quantidade de massa que ocupa um determinado volume e se relaciona positivamente com o conteúdo calórico quando em base seca, queimando mais lentamente quanto maior a densidade (QUIRINO *et al.*, 2005). A água presente nas estruturas internas da madeira faz variar tanto a massa quanto o volume, sendo que a variação da densidade x umidade é uma função linear até 25-30% do valor do teor de umidade (TSOUMIS, 1991).

Para a madeira a densidade é uma característica complexa da combinação de diversos fatores relacionados às dimensões das fibras, arranjo anatômico dos elementos constituintes, entre outros, que vão determinar as propriedades físicas e mecânicas das diferentes espécies de árvores (Foelkel *et al.*, 1971). Os valores de densidade básica (Db) variam conforme a espécie, idade, posição radial das amostras e a variação no sentido base topo. Como exemplo o *Eucalyptus grandis*



que segue a tendência de redução da Db até um quarto da altura da árvore quando ocorre a inversão e aumento da Db, com 0,50 g/cm<sup>3</sup> na base, 0,45 g/cm<sup>3</sup> a um quarto de altura e 0,55 g/cm<sup>3</sup> no topo (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

As principais características dos resíduos ligno-celulósicos são: grande heterogeneidade, baixa densidade, alto teor de umidade e grande dispersão geográfica, o que encarece a coleta e transporte, dificultando a utilização dos mesmos. A densidade, por exemplo, pode variar de 0,16 a 1,3 g/cm<sup>3</sup> para resíduos, 0,49 a 0,55 g/cm<sup>3</sup> para madeiras leves e 0,76 a 0,82 g/cm<sup>3</sup> para madeiras pesadas (NASCIMENTO *et al.*, 2006).

O esterco verde das vacas leiteiras, definido como o esterco adicionado dos outros resíduos da atividade recolhido em esterqueiras, é um material extremamente heterogêneo e quando o manejo inclui nas esterqueiras a urina, água de higienização, restos alimentares e das camas essa a densidade fica próxima à densidade da água em função da umidade. Como exemplo o resultado médio obtido por Campos (1997) e Lorimor & Sutton (2004) que obtiveram a densidade média de 933 kg/m<sup>3</sup> à umidade de 87%.

Os processos de densificação (pelletização e briquetagem) são utilizados quando se pretende reduzir a umidade e aumentar a densidade do material, melhorando suas propriedades energéticas. O material particulado é prensado na forma de pellets ou briquetes, conferindo a estes: resistência mecânica, resistência a impacto, baixa higroscopicidade, alta densidade, boas propriedades de queima e alto poder calorífico, havendo uma relação linear e crescente entre a densidade energética e o grau de compactação. Como exemplo, a compactação do bagaço de cana-de-açúcar promove um aumento da densidade energética na ordem de 1300%, sendo 900% conseguidos até o grau de compactação de 1000 kg/m<sup>3</sup> (VIDAL & HORA, 2011; SILVA e MORAIS, 2008).

### 2.3.2 Poder Calorífico

O poder calorífico expressa, em J/g (Sistema Internacional) ou kcal/kg, a quantidade de energia na forma de calor que é liberada pela combustão de uma unidade de massa (Quirino *et al.*, 2005). É dividido em Poder Calorífico Superior

(PCS), onde a combustão ocorre a volume constante e a água formada durante o processo é condensado e o calor da condensação é recuperado; e o Poder Calorífico Inferior (PCI) correspondente ao PCS quando se deduz o calor necessário para vaporizar a água do combustível e a umidade da combustão do hidrogênio (água de formação), correspondendo à quantidade de calor útil (real) liberado na queima (CALEGARI *et al.*, 2005).

Como são muitas as variáveis que alteram o poder calorífico das diferentes biomassas, saber a caracterização elementar do material é importante visto que quando destinadas à energia devem conter menores quantidades de oxigênio e elevados teores de carbono e hidrogênio, que apresentam correlação direta com o poder calorífico. O PCS aumenta com o teor de carbono fixo e diminui com o teor de materiais voláteis; da mesma forma o poder calorífico é maior quanto menor teor de umidade (REIS, 2012; TRUGILHO & SILVA, 2001)

Brito e Barrichelo (1978) citam as variações de poder calorífico de 4000 a 4250 kcal/kg para madeiras não resinosas e para madeiras resinosas de 4300 a 4850 kcal/kg, havendo variação entre as espécies e intraespecificamente conforme o compartimento da árvore: tronco, galhos, ramos, casca, nós, etc. (VALE *et al.*, 2000; BRITO e BARRICHELO, 1978). Brand (2007) confirmou em pesquisa que estatisticamente o PCS de biomassas florestais não varia em função da época de colheita, mas há interferência da disposição da biomassa em estoque em função da umidade adquirida no empilhamento e proveniente das intempéries.

Feitosa Netto *et al.* (2006) encontraram valores médios de PCS de 4691,06 kJ/kg em biomassas residuais na Amazônia. Khambalkar *et al.* (2008) consideraram o poder calorífico das biomassas: 3500 kcal/kg para o algodão, 3000 kcal/kg para o feijão guandu, 3500 kcal/kg para o sorgo, 4800 kcal/kg para madeira e 5300 kcal/m<sup>3</sup> para o esterco animal.

Quirino *et al.* (2005) encontraram valores para o PCS de diferentes espécies florestais variando de 3.888 kcal/kg para *Eriotheca globosa* (Punga colorada) e 5.263 kcal/kg para *Mezilaurus itauba* (Itaúba), e afirmaram que o PCS varia conforme a Densidade Básica (Db) das madeiras.

No caso do esterco a digestão anaeróbia produz o biogás com poder calorífico de 5.342,75 a 7.126,6 kcal/m<sup>3</sup>, equivalente a 60-80% do valor energético do gás natural. A gaseificação pode produzir biogás com o poder calorífico de

890,46 a 1.780,91 kcal/m<sup>3</sup> e do processo de pirólise podem resultar gases combustíveis com a média de 3.116,6 a 4.897,52 kcal/m<sup>3</sup> (SERIO *et al.*, 2002).

Chirag *et al.* (2011) em pesquisa experimental de combustão lenta de partículas de madeira de teca e esterco bovino concluíram que o poder calorífico do esterco bovino (3.339 kcal/kg) é menor do que das partículas de teca (4.887,03 kcal/kg) devido a menores conteúdos de carbono fixo e volátil; e que a taxa média de combustão lenta é maior para o esterco bovino.

### 2.3.3 Composição química elementar

A análise da composição química elementar avalia as porcentagens de carbono (C), nitrogênio (N), hidrogênio (H), enxofre (S) e oxigênio (O). Os valores obtidos permitem calcular as relações entre C/H e C/N, que identificam o potencial decompositor do resíduo, ou seja, a facilidade com que os microrganismos irão degradar a matéria orgânica. A razão C/N ótima para compostagem é de 25 a 35. Quanto maior a razão C/N mais lenta é a compostagem, e quanto menor esta relação maior será a formação de amônia (EMBRAPA, 2006).

Protásio *et al.* (2010) sugere a utilização de modelos simples ou múltiplos para a obtenção do PCS e demais variáveis devido a alta correlação linear entre o poder calorífico superior e os teores de carbono, hidrogênio e oxigênio, e cinzas. Ramos e Paula (2011) encontraram correlação positiva entre o PCS e teor de voláteis, carbono e hidrogênio, lignina, extrativos, holocelulose e carbono fixo; e alta correlação negativa com o teor de oxigênio, em pesquisa com vários tipos de resíduos. Como exemplo os autores citam a casca de arroz que apresenta alto teor de lignina, mas possui baixo teor de carbono e alto teor de cinzas e oxigênio, o que lhe confere baixo poder calorífico.

### 2.3.4 Análise Química Imediata

A composição química imediata se refere aos percentuais de carbono fixo (material que se queima no estado sólido), materiais voláteis (material que se

queima no estado gasoso) e cinzas (material residual), baseado na massa do combustível. Onde, o carbono fixo representa a fração de carvão que permanece na amostra após a queima dos materiais voláteis (parte do combustível que se volatiliza quando aquecido a altas temperaturas) (BRAND, 2010).

O teor de materiais voláteis consiste na quantidade de matéria volátil composta principalmente por hidrogênio, hidrocarbonetos, CO e CO<sub>2</sub>. O teor de carbono fixo corresponde ao carbono responsável pela formação da massa amorfa, esta denominação objetiva distinguir a existência do carbono como parte de compostos sob as duas formas, a gasosa e a amorfa (CAMPOS, 2008).

Os materiais voláteis da madeira giram em torno de 78 a 85% e o carbono fixo entre 15-25%, onde geralmente biomassas com maior teor de carbono volátil e menor percentual de cinza apresentam maior poder calorífico (BRAND, 2010). Feitosa Netto *et al.* (2006) obtiveram teores de voláteis médios de 80,06%  $\pm$  5,19% para 43 biomassas sólidas produzidas na Amazônia.

Madeiras com maior teor de extrativos e lignina (maior quantidade de carbono fixo) apresentam poder calorífico maior por ter menor percentual de oxigênio que polissacarídeos da holocelulose. As coníferas possuem teores de resinas e lignina maior que as latifoliadas, conseqüentemente apresentam um poder calorífico maior (BRITO e BARRICHELO, 1978). Para biomassas diversas da Amazônia, pesquisadas por Feitosa Netto *et al.* (2006) o teor de carbono fixo médio encontrado foi de 17,77%  $\pm$  3,87%.

Quanto maior o carbono fixo menor a quantidade de materiais voláteis e mais lentamente ocorre a queima, necessitando de maior tempo de residência na fornalha para a queima total (BRAND, 2010). Os teores de materiais voláteis e carbono fixo são inversamente proporcionais, conforme mencionado por Protásio *et al.* (2010) e Brand (2010).

As cinzas são óxidos de minerais resultante da combustão completa da biomassa. Como não participam da combustão, mas são contabilizados na massa do combustível, elevados teores reduzem o poder calorífico (BRAND, 2010).

As cinzas, como os outros componentes da biomassa, apresentam muitas variações no teor, dependendo de vários fatores como: tipo de biomassa, procedência, parte do vegetal, idade e espaçamento.

A média do teor de cinzas para as 43 biomassas sólidas amazônicas analisadas por Feitosa Netto *et al.* (2006) foi de 2,17%  $\pm$  3%. Os teores variam de

acordo com a influência do clima das estações do ano e conforme o compartimento da árvore sendo que no cerne é maior do que é encontrado no alburno (TRUGILHO e SILVA, 2001).

## 2.4 O CUSTO DAS BIOMASSAS MADEIRA E ESTERCO BOVINO

A economia lida com a eficiência produtiva e a eficácia alocativa, fundamentadas no antagonismo da escassez de recursos e nas ilimitáveis aspirações da sociedade. Eficiência no sentido de maximizar o emprego dos recursos e eficácia na otimização das escolhas das melhores alternativas de investimentos, buscando avaliar os custos para a tomada de decisão, associando as alternativas possíveis às oportunidades sacrificadas sempre que um recurso for utilizado (MC GUIGAN *et al.*, 2008; ROSSETI, 2008; VASCONCELLOS e GARCIA, 2009; CASIMIRO FILHO, s.d.).

Para melhorar a eficiência da produção e reduzir o uso de mão de obra direta que tem alto impacto no custo total dos produtos, as empresas buscam por soluções tecnológicas. Estas, segundo Bezerra (2010), podem provocar um deslocamento positivo da fronteira de possibilidade de produção, desde que estejam associadas a vantagens financeiras, com a recuperação dos custos de investimentos e/ou apropriação dos ganhos.

A análise de custos é uma das ferramentas mais utilizadas e fundamentais na tomada de decisão já que a existência de custos é consequência direta da existência da produção (CUNHA, 2007). A contabilidade tradicional determina os custos para fins de relatórios financeiros o que não permite uma boa avaliação dos resultados da empresa e do planejamento de ações futuras (ALVARENGA *et al.*, 2014). Dessa forma, a avaliação dos custos econômicos, como adaptação e aperfeiçoamento da análise de custos, utilizando como ferramentas: o custeio baseado em atividade, o ciclo de vida dos produtos, cadeia de valor e logístico, permitem a obtenção de resultados mais satisfatórios e a adoção de estratégias econômicas efetivas (RECKZIEGEL *et al.*, 2007 e SILVEIRA *et al.*, 2012).

As empresas procuram também administrar melhor o espaço e o tempo, reduzindo os custos de armazenagem e de movimentação de materiais por estarem inseridas em um rol de atividades conjuntas de grande movimentação diária e que ocupam uma grande área (RODRIGUES, 2008). Vieira (2009) salienta a necessidade da minimização destes custos considerando fatores como a definição do momento correto da compra, a quantidade e preço do material comprado, os níveis de segurança de estoque e a qualidade no atendimento à demanda.

A TABELA 2-1 apresenta uma adaptação de definições referentes aos custos de armazenagem.

**TABELA 2-1 – DEFINIÇÕES E DIVISÕES DOS CUSTOS DE ESTOQUE SEGUNDO BALLOU (2006):**

Custo de aquisição ou custo de pedido	Custos administrativos	Relacionados ao processamento, preparação, transmissão do pedido, como: requisições, fax, telefone, serviços de computadores e correio, e salários dos funcionários.
	Custo do produto	Custo de aquisição do produto, conforme a quantidade adquirida.
	Custo com movimentações diversas	Relacionado ao deslocamento dos funcionários para efetivar as aquisições
	Custo de transportes Inspeções	Relacionado aos custos inferidos na manutenção interna dos estoques ou no transporte do fornecedor à empresa. Relacionadas à checagem do produto recebido
Custo de manutenção do estoque	Custos de capital	São os custos financeiros do capital imobilizado, ocasionados pela compra de insumos e materiais desnecessários em um determinado tempo ou que necessitam de maiores estoques de segurança ou motivos correlatos. É o custo de oportunidade resultante da perda de rendimentos em função de uma escolha. Pode ser obtido considerando as taxas de juros praticadas no mercado de capitais.
	Custos de obsolescência	Custos devidos ao vencimento do prazo de validade dos produtos estocados, produzindo perdas financeiras em função da obsolescência do produto, estimado com base em históricos.
	Custo de espaço	Custos cobrados pelo espaço ocupado pelo estoque no armazém que, quando ocorrido em espaço alugado as taxas são cobradas normalmente por tonelada/período e quando em espaço próprio é determinado com base na locação de mercado.
	Custos diversos	Envolvem uma série de outros custos como roubos, deterioração de cargas, perdas e danos, etc. obtidos com base em históricos.
	Custos com seguros e impostos	Relacionados aos volumes médios dos estoques mantidos, representam uma pequena parcela dos custos totais de manutenção.
Custos de falta de estoques	Custo da venda perdida	Aplicada em estoques de produtos prontos quando em face de cancelamento de pedido por falta de estoque.
	Custo pelo pedido atrasado	Aplicada em estoques de produtos prontos quando o cliente não cancela o pedido, mas a venda não é formalizada até que o produto esteja disponível.

Fonte: Adaptado de Ballou (2006), Vieira (2009), Gottfridsson (2011)

Lima (2003) avaliou o custo de oportunidade e o impacto sobre os indicadores financeiros nos estoques, o que afeta diretamente o retorno sobre o capital acionário. Destaca que o custo financeiro do estoque, por se tratar de um custo de oportunidade, não é relacionado a um desembolso e não aparece em contas ou notas de pagamento, e dessa forma, muitas vezes passa despercebido aos acionistas das empresas, mas refere-se a um possível rendimento que o capital imobilizado teria caso fosse aplicado em algum outro projeto da empresa.

Gottfridsson (2011) ainda cita, como importante à avaliação econômica das empresas, os custos de ineficiência. Porém estes são de difícil identificação e contabilização por estarem ocultos nos altos níveis de estoque gerados para que a empresa se proteja contra as flutuações da demanda. Esta ilusão pode também impedir que a empresa busque por novas soluções logísticas e novas formas de organização.

A Fundação Getúlio Vargas desenvolveu uma metodologia baseada no sentido “bottom up” onde os dados de custos referentes às mercadorias são agregados em categorias para então serem empregados nas equações da metodologia. Esta metodologia inclui o custo de capital da mercadoria (estoque médio, preço médio e custo oportunidade) e os custos de armazenagem (custo de movimentação interna; depreciação de equipamentos operacionais; salários e encargos; custo do espaço ocupado; custo do terreno e construção; valores médios de taxas, impostos, segurança, seguro e manutenção predial; obsolescência e quebras, danos e perdas em geral), apresentando uma abordagem mais detalhada para os custos, com o mapeamento relacionado diretamente aos produtos, por setor ou mercadoria ou insumo, prevendo melhor os custos operacionais (SILVA REIS & CONSTANTE, 2011).

#### 2.4.1 Aspectos gerais dos custos e preços da madeira

No setor agrícola as decisões de investimento têm tido especial atenção nos últimos anos face à escassez de capital relacionado aos fatores de produção, às altas taxas de juros e constantes alterações na política agrícola, o que gera incertezas na aplicação de recursos próprios (NORONHA, 1981). Nesse sentido,

entender as variáveis que afetam os custos de produção é importante na compreensão dos preços praticados no mercado.

Os maiores custos da cadeia produtiva da madeira para energia orbitam em torno dos custos de colheita e transporte florestal que pode variar de 50 a 70% do custo final do produto, dependendo da distância percorrida, sendo especialmente significativos os custos de combustível, manutenção, reparos e depreciação (KRAUSE JR, 2014; MACHADO & MALINOVSKI, 1988; SILVA *et al.*, 2014).

Lima (2003) e Bronoski (2007) destacam a importância dos custos logísticos que são determinantes para a redução do custo total, principalmente em função do valor imobilizado que o estoque representa na conta do ativo, afetando diretamente o retorno sobre o capital. Muitas vezes não são contabilizados separadamente estando internalizado em outros processos, assim, o impacto que provocam na lucratividade das empresas não é sentido diretamente.

A madeira para energia é produzida em espaçamentos reduzidos (alta densidade de árvores por hectare) e rotações curtas (5 a 7 anos), o que reduz o tempo para a colheita florestal, o preço e o custo oportunidade. Dessa forma, dependendo dos preços praticados no mercado, os produtores podem planejar melhor a produção florestal na tentativa de obter uma maior rentabilidade e busca por melhor preço de venda. As variações do custo de produção florestal e os aspectos de oferta e demanda dos produtos afetam diretamente os preços.

A TABELA 2-2 apresenta os valores médios da madeira no Estado do Paraná.

**TABELA 2-2 – PREÇOS FLORESTAIS NO PARANÁ EM R\$/m<sup>3</sup>\***

Descrição	2014		2013	2012
	out-nov	abril	abril	abril
Lenha de eucalipto em pé no produtor	45,69	40,40	39,10	37,93
Lenha de eucalipto no carreador	sd	50,50	63,36	54,75
Toras de eucalipto 18-25cm em pé no produtor	52,79	73,23	40,73	71,12
Toras de eucalipto posta na serraria 8-18cm	71,07	75,75	46,17	sd
Toras de eucalipto posta na serraria 18-25cm	142,13	113,63	62,46	59,24

\* Valores corrigidos para janeiro de 2015 pelo IGP-DI; sd: sem dados disponíveis.

FONTE: Adaptado de SEAB/DERAL (2015)

Os valores corrigidos demonstram que houve um aumento real nos preços pagos ao produtor paranaense entre 2012 e 2014, excetuando-se os valores pagos para as toras de eucalipto de 18 a 25 cm de diâmetro em pé. Pode também ser



verificado que os valores adicionados pela colheita e transporte são significativos quando se comparam os valores do preço pago pelo produto em pé e postos nos carregadores ou entregues na serraria.

A região de Telêmaco Borba, no Estado do Paraná, em setembro de 2014 apresentou valores para a madeira entregue na fábrica de celulose em torno de R\$ 62,00 por tonelada. Na mesma região o valor praticado para madeira para energia, de menor diâmetro, girava em torno de R\$ 81,00 por tonelada, com oferta maior que a demanda para esta finalidade (CNA, 2014), ressaltando-se que grande parte da produção florestal da região é destinada às indústrias de papel e celulose.

#### 2.4.2 Aspectos gerais do custo do esterco bovino

O esterco bovino de interesse econômico é derivado da bovinocultura em sistemas de confinamento e neste caso a bovinocultura leiteira tem expressividade no rebanho nacional. Porém, a cadeia produtiva do leite sofre distorções crônicas no que se refere à sua rentabilidade. A baixa produtividade e o alto custo da pecuária leiteira fez crescer o número de cooperativas de produtores, na tentativa de reduzir o risco nos processos de comercialização (compra de insumos e venda de produtos), melhorando o rendimento. O cooperativismo, de certa forma, foi o que permitiu a continuidade da produção leiteira no Brasil (NORONHA, 1981).

A melhor utilização dos recursos existentes e inovações tecnológicas para a redução de custos ou melhorar rendimentos para a produção leiteira têm sido objeto de pesquisas a fim de garantir a sustentabilidade da produção, visto que o custo operacional total da produção de leite equivale a 93 a 97% da renda. Variações nos custos se devem à escala de produção, estruturação do rebanho e qualidade do volumoso produzido, sendo difícil ao produtor rural a diluição destes custos (CEPEA/ESALQ, 2014; SANTOS e LOPES, 2014).

Dessa forma, melhorar a renda através da utilização de subprodutos para a comercialização e redução de custos via escala de produção e planejamento estratégico de gastos ainda são alternativas únicas para que se possa manter a produção de leite. No caso, o esterco bovino é um resíduo utilizado na substituição de fertilizante químico em adubação de pastagens e outras culturas, constituindo um custo oportunidade importante, definindo este como “o valor do recurso no seu

melhor uso alternativo”. No Brasil o esterco bovino para uso energético não é comum mas pode se constituir como fonte de renda alternativa da atividade (PEREIRA *et al.*, 1990).

Van Horn *et al.* (1994) valorou o esterco assumindo seu papel como fertilizante, tendo por base o preço individual do N, P e K, na proporção da composição do esterco, porém, ressaltam que este valor é difícil de ser quantificado devido à volatilização do N e usos menores de outros nutrientes. Paniago (2006) utilizou a mesma metodologia usando como parâmetro a quantidade de nutrientes encontrados em análise química comparativamente aos fertilizantes e obteve o valor de R\$ 0,11/kg de esterco seco. Este valor corrigido pelo IGP-DI para dezembro de 2015 seria o equivalente a R\$ 0,20/kg de esterco seco.

Em sites de comércio livre da internet existem muitos anunciantes de compra e venda de esterco bovino, sem especificação do preço por volume (R\$/m<sup>3</sup>, R\$/kg, R\$/sc 60 kg). Valores encontrados para o esterco de gado seco, em setembro de 2014, variaram de R\$ 120,00/m<sup>3</sup> a R\$ 130,00/m<sup>3</sup> em Itapetininga – SP, R\$ 3,50/2kg a R\$ 4,50/2kg em Nova Europa – SP e R\$ 9,99/kg em SP.

Pode-se verificar que os valores são bastante diversos e não há como precisar como esses valores praticados no mercado foram formados. Dessa forma, valorar o uso do esterco bovino em qualquer destinação dada ao mesmo é de difícil concretização.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, T.H.P. *et al.* O tema “custos” em periódicos da Engenharia de Produção: uma análise bibliométrica e perspectivas futuras. In: **Anais XXI Congresso Brasileiro de Custos** – Natal, RN, Brasil, 17 a 19 de novembro de 2014.

ALVIM, L.A.C.; PAULA JR, D.R.; PINTO, A.R. Potencialidades de aproveitamento de resíduos da bovinocultura. In: **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**; AIDIS. Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio. Rio de Janeiro, ABES, 1999. Disponível em: <[http:// http://goo.gl/V7R8hL](http://goo.gl/V7R8hL)> Acesso em 14/05/2011.

ANEEL – AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 2014. Disponível em: <<http://goo.gl/l8fTRa>> Acesso em 14/05/2014.

ARNOLD, J.E.M. e JONGMA, J. Fuelwood and charcoal in developing countries: An economic survey. In: **8º Congresso Florestal Mundial**, Unasylva, v.29, n.118, p.2-9. Setembro, 1978. Jacarta, Java.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BELL, R. A. O. **Demanda de lenha para secagem de grãos no Estado do Paraná**. Dissertação. Mestrado em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias - UFPR. Curitiba, 2013.

BEZERRA, C. M. **Inovações tecnológicas e a complexidade do sistema econômico**. Ed. Cultura Acadêmica, São Paulo – SP, 2010.

BORGO, J. D.H. **Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de bovinos em solos sob plantio direto: fertilidade do solo, produtividade e absorção de nutrientes em milho**. Dissertação em Ciências do Solo da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. In: **Compêndio universitário sobre edafologia**. Rio de Janeiro. Freitas Bastos. 1976.

BUAINAIN, A.M. *et al.* **O mundo rural no Brasil do século 21** – A formação de um novo padrão agrário e agrícola. Editores técnicos. Embrapa. Brasília – DF, 2014.

BRAND, M.A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. Tese (Doutorado em ciências florestais) 169 p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRAND, M. A.. **Energia de biomassa florestal**. Editora Interciência, Rio de Janeiro – RJ, 2010.

BRAND, M.A. *et. al.* Influência do tempo de estocagem na qualidade da biomassa para energia em regiões subtropicais úmidas. **Cerne**, Lavras, v.16, n.4, p. 531-537, out/dez, 2010.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF** n.16, p.63-70, 1978. Disponível em: <<http://www.ipef.br>> Acesso em: 25/08/2013.

BRONOSKI, M. **Análise da eficiência logística na gestão de suprimentos da indústria de compensados na região de Curitiba**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

BROOM, D.M. Animal welfare: concepts and measurement. **Journal of animal Science**, Savoy, v.69, n.10, p. 4167-4175, 1991.

CALEGARI, L. *et al.* Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Sul do Brasil. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p. 37-46, 2005. Disponível em: <<http://goo.gl/ElniwP>>. Acesso em: 02. Ago. 2012.

CAMPOS, A.T. **Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite**. Tese. Doutorado. Programa de Pós Graduação em Agronomia da UNESP. Botucatu - SP, 1997.

CAMPOS, A. T. Entrevista – Tratamento de dejetos de bovinos de leite. **Embrapa Gado de leite**. Juiz de Fora, 17 de março de 2008. Disponível em: <[HTTP://www.cnp.gl.embrapa.br/nova/sala/noticias/jornaldoleite.php?id=383](http://www.cnp.gl.embrapa.br/nova/sala/noticias/jornaldoleite.php?id=383)>

CARMO, A. P. T. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto**. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

CASIMIRO FILHO, F. **Teoria da Produção**. Material didático da disciplina de teoria econômica aplicada do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. s/d

CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Brasilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v.2, nº1, pg 97- jan-abril, 1998. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v2n1/index.htm> Acesso em: 15/12/2012.

CECCHIN, D. **Comportamento de vacas leiteiras confinadas em Free-Stall com camas de areia e borracha**. Dissertação em Engenharia agrícola, Lavras, MG, 2012.

CEPEA-ESALQ. Custos de produção pecuária de leite. **Informativo CEPEA** – Análise trimestral, edição nº 35, setembro/2014. Coordenação Prof. Dr. Sergio De Zen. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>> Acesso em: 21/01/2015.

CHEROBIM, V. F. **Infiltração de água no solo em sistema de plantio direto sob doses de dejetos líquido bovino e intervalos de avaliação**. Dissertação Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CHIRAG, K.M. *et al.* Smoldering Combustion of Biomass Particles. **Journal of Applied Sciences**, 11: 1862-1866, 2011

CNA Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil e UFV Universidade Federal de Viçosa. **Boletim Ativos da Silvicultura**. Edição 7, outubro de 2014. Brasília – DF.

CORTEZ, L. A. B. *et al.* **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora UNICAMP, 2008

CUNHA, A. S.. **Análise de custos** – livro didático. 2ª Edição, 170 pg; Palhoça – SC: UnisulVirtual, 2007.

DARIO, M. *et al.* Indicadores de desempenho, práticas e custos da manutenção na gestão de pneus de uma empresa de transportes. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.14, nº4, p. 1235-1269, out/dez, 2014. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1450>> Acesso em: 23/02/2015.

EMBRAPA Agrobiologia. **Cultivo de café orgânico**. 2ª edição, versão eletrônica dezembro, 2006. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em: 23/09/2014.

EMBRAPA. **Florestas Energéticas na matriz de agroenergia brasileira**. Coordenação geral Embrapa Florestas – Colombo-PR. (2009)

FAO Food and Agriculture Organization of The United Nations. **State of the World's Forests**. Roma, 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/wUFlvV>> Acesso em 28/9/2013.

FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de Bracatinga (*Mimosa scrabella*, Benth) e aspectos gerais de combustão. **Série Técnica FUPEF**. Curitiba, 1981. 14p.

FEITOSA NETTO, G.B. *et al.* Caracterização energética de biomassas amazônicas. In: **Encontro de energia no meio rural**. 6, Campinas, 2006. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br>> Acesso em 18/05/2012.

FERREIRA, A.M., *et al.* **Gado de leite: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 3ª ed. Revisada e ampliada. Brasília, DF. Embrapa, 2012.

FOELKEL, C.E.B. *et al.* Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF** n.2/3, p.. 65-74, 1971.

FOGED, H. L. **Livestock Manure to Energy – Status, technologies and innovation in Denmark**. Agro Business Park A/S, December, 2012. Dinamarca. Disponível em: <<http://goo.gl/UdFqMv>> Acesso em 23/09/2014.

GATTO, D.A. *et al.* Características da lenha produzida na região da quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.2, p.7-16, 2003. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br>> Acesso em: 04/08/2014.

GILBERTSON, C.B. (coordinator) Animal waste utilization on cropland and pastureland. U.S. **Department of Agriculture and Environmental Protection Agency. USDA** utilization report n.6, October 1979.

GÓMEZ, E.O. A tecnologia de pirólise no contexto da produção moderna de biocombustíveis: uma visão perspectiva. **Informativo eletrônico do NIPE**. nº 572, 2009. Campinas – SP. Disponível em: <<http://www.nipeunicamp.org.br>> Acesso em: 12/11/2014.

GOTTFRIDSSON, J. D. Análise de trade off: custos de estocagem x custos de ruptura. ACCERA **Accademia supply & demand chain**, julho de 2011. Disponível em: <<http://www.accera.com.br>> Acesso em: 22/02/2015.

HARDOIM, P. C.; GONCALVES, A. D. M. A. Avaliação do potencial do emprego do biogás nos equipamentos utilizados em sistemas de produção de leite. In: **Encontro de energia no meio rural**, 3, 2003. Campinas. Disponível em:<<http://goo.gl/IDzs1i>>. Acesso em: 17 Mar. 2013.

HOLY BIBLE – Disponível em: <<http://drghaly.com/articles/display-html/10661>> Acesso em 22/06/2014.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores. Silvicultura: recuperação de solo e grão de renda ao produtor. **IBA informativo on line**, 16/01/2015. Disponível em: <<http://www.iba.org.br>> Acesso em: 25/02/2015.

International Energy Agency - IEA. **World Energy Outlook 2013**. OECD/IEA, Paris, França. Disponível em: <<http://www.iea.org>>

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2013**. Volume 41 , p. 1-108. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 19/01/2015

KHAMBALKAR, V.P. *et al.* Assessment of bioresources potential of a rural village for self energy generation. Energy self-sufficient village. **BioResources** 3(2), 566-575, 2008. Disponível em: <<http://www.ncsu.edu/bioresources/>> Acesso em: 4/10/2014.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 1998. 171 p.

KONZEN, E. A. e ALVARENGA, R. C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agrônômicos e ambientais. **EMBRAPA, Circular técnica** nº 63. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, Sete Lagoas – MG. Dezembro, 2005.

KRAUSE JR, J. *et al.* Custos da colheita e transporte florestal de produtores rurais fomentados em diferentes distâncias. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, Garça – SP; Ano XII, v.24, n.1. Agosto 2014. Disponível em: <<http://www.faeef.revista.inf.br>> Acesso em 24/03/2015.

LIMA, M. P. Estoque: custo de oportunidade e impacto sobre os indicadores financeiros. **Centro de estudos em logística**. UFRJ, 2003. Disponível em: <<http://goo.gl/u53ZXg>> Acesso em: 23/02/2015.

LORIMOR, J. & SUTTON, A.L. Manure characteristics – Manure management systems series. **MidWest Plan Service MWPS-18**, Section 1. 2ª edição. Iowa State University, USA, 2004.

LUCAS, J.J.; SILVA, F.M. **Biogás, produção e utilização**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2005, 8p.

LUCAS JR., J.; AMORIM, A.C. Manejo de dejetos: fundamentos para a integração e agregação de valor. In: **Anais do ZOOTEC' 2005** – 24 a 27 de maio de 2005, Campo Grande – MS. Disponível em: <[www.abz.org.br/files.php?file=documentos/Jorge\\_978987058.pdf](http://www.abz.org.br/files.php?file=documentos/Jorge_978987058.pdf)> Acesso em 12/12/2012.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Ciência do trabalho florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 65 p.

MAITHEL, S. **Biomass Energy - Resource Assessment Handbook**. Prepared for APCTT Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology of the United Nations –

Economic and Social Commission for Asia and Pacific (ESCAP). September, 2009. Disponível em: < <http://recap.apctt.org/Docs/Biomass.pdf> > Acesso em 5/05/2014.

McGUIGAN, J. *et al.* **Economia de empresas – Aplicações, estratégia e táticas.** Cengage Learning, São Paulo, 2008.

MLEKU, D. The materiality of dung: the manipulation of dung in Neolithic Mediterranean caves. UDK 903.28,14(292.46)"633\634">636. **Documenta Praehistorica** XXXVI (2009). Disponível em: < <http://goo.gl/wGeGS7> > Acesso em: 3/9/2013.

NASCIMENTO, S.M. *et al.* Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Holos environment**, v.6, n.1, 2006.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários – Administração financeira, orçamentação e avaliação econômica.** Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP, 1981.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.* Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

OLIVEIRA, R.L.; RIBEIRO, V.M.; PASSOS, F.B. Potenciais tecnologias de produção de hidrogênio a partir da biomassa. **Perspectivas online: exatas & engenharia**, v.4, n.10, p.12-25. Campos dos Goytacazes – RJ. Disponível em: <<http://www.perspectivasonline.com.br>> Acesso em: 12/07/2015).

PANIAGO, R. Qual o valor do esterco de confinamento de bovinos? **Beefpoint**, postado em 17/05/2006. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br>> Acesso em 18/03/2014.

PARSAMEHR, M. **Heat generation by cow dung incineration in the north of Iran.** Master Science, Environmental Engineering Department, Mid Seden University, Superviror Dr Nils Nilsson, 2012. Disponível em: < <http://goo.gl/xpWFRQ> > Acesso em: 04/10/2014.

PEREIRA, A. C. *et al.* . Custo de oportunidade: conceitos e contabilização. **Cad. estud.**, São Paulo , n. 2, Apr. 1990 . Disponível em: <<http://goo.gl/qe6srX>>. Acesso em: 23/10/2014.

PERISSINOTTO, M. **Avaliação da eficiência produtiva e energética de sistemas de climatização em galpões tipo “Free Stall” para confinamento de gado leiteiro.** Dissertação Mestrado em Física do Ambiente Agrícola. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2003.

PROTASIO, T.P. *et al.* Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. **CERNE**, Lavras, v.18, n.3, Setembro, 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/OIIOL6>> Acesso em 24/11/2014.

QUÉNO, L. R. M.. **Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia.** Dissertação (Mestrado em engenharia florestal) Universidade de Brasília. Brasília, DF, 64p. 2009.

QUIRINO, W.F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira** nº 89, p.100-106, 2005. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/cadastro.php>> Acesso em 18/05/2012.

RAMOS E PAULA, L.E. *et al.* Characterization residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n.2, p.237-246, abr/jun., 2011.

RECKZIEGEL, V. *et al.* Práticas de Gestão de Custos adotadas por empresas estabelecidas nas regiões noroeste e oeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**. v.9, n.23, p.14-27, 2007.

REIS, A.A. *et al.* Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v.32. n.71, p.277-290, jul/set, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb>> Acesso em: 23/8/2013.

RIBEIRO, G. M. *et al.* . Efeito da fonte protéica e do processamento físico do concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos dejetos. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 36, n. 6, supl. Dec. 2007. Disponível em: < <http://goo.gl/HkFxe6> > Acesso em 11/01/2013

ROCHA, M.P. *et al.* A madeira como fonte de energia. **Revista da Madeira**. ABPM. Associação Brasileira de Produtores de Madeira, Curitiba, Ano 2, 1993, n.11, p.26-27.

RODRIGUES F<sup>o</sup>, J.A.; AZEVEDO, G.P.C. **Criação de gado leiteiro na zona bragantina**. Embrapa Amazônia Oriental, Sistemas de Produção. Dezembro, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br> Acesso em: 01/10/2014

RODRIGUES, P. R. A. **Gestão Estratégica da Armazenagem**. 2ª Edição, São Paulo: Edições Aduaneiras, 2008.

ROSSETI, J. P. **Introdução à economia**. 20ª edição, Editoras Atlas, São Paulo – SP, 2008.

SANTOS, I. A.; NOGUEIRA, L. A. H.. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.4, n.1, p.41-49, abr.2012.

SANTOS, G. e LOPES, M.A. Indicadores econômicos de sistemas de produção de leite em confinamento total com alto volume de produção diária. **Ciência animal brasileira**, Goiânia, v.15, n.3, p. 239-248, jul./set. 2014

SEAB – DERAL. **Preços florestais**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br>> Acesso em: 9/9/2014

SCHNEIDER, P. R. **Manejo florestal: planejamento da produção florestal**. Ed. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. Agosto, 2008.



SERIO, M.A. *et al.* Pyrolysis processing of animal manure to produce fuel gases. Advanced fuel research, inc. **Fuel Chemistry Division Preprints** 2002, 47(2), 588; USA. On line. Disponível em: <https://goo.gl/3ChkRZ> Acesso em: 29/3/2014

SILVA, J.C.P. *et al.* Esterco de gado leiteiro associado à adubação mineral e sua influência na fertilidade de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34:453-463, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>> Acesso em: 12/12/2013

SILVA, J.E.; RESCK, D.V. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M., eds. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997.

SILVA, M.B. e MORAIS, A.S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. **Anais. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro, RJ, 13 a 16 de outubro de 2008.

SILVA REIS, M.A. e CONSTANTE, J.M. **Metodologia para cálculo dos custos logísticos associados ao fluxo de mercadorias**. Fundação Getúlio Vargas – EAESP Escola de administração de empresas de São Paulo. São Paulo – SP. Disponível em: <<http://eaesp.fgvsp.br/>> Acesso em: 15/01/2015.

SILVA, E.N. *et al.* Avaliação de custos de dois modelos de harvester no corte de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.24, n.3, p.741—748, jul-set, 2014.

SILVEIRA, A. O.; BORGES, A. P. M.; VELASQUEZ, M. D. P. Gestão de custos no setor açougue de uma cooperativa de consumo. **ABCustos**, v.7, n.3, p.1-24, set/dez. 2012

SOUZA, M.M. *et al.* Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, PR, v.42, n.2, p.325-334. Abr/jun, 2012.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood. structure, properties, utilization. **Van Nostrand Reinhold**. New York, 1991. Disponível em: <<http://www.forstbuch.de/tsoumisleseprobe.pdf> > Acesso em 23/05/2014.

TINOCO, I. F. F.; SOUZA, C. **Instalações para gado de leite**. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/GadoLeiteOutubro-2004.pdf>> Acesso em: 26/03/2013 .

TRUGILHO, P.F. e SILVA, D.A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea coubaril* L.). **Scientia Agraria**, v.2, n.1 (2001).

VALE, A. T. *et al.* Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex- maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, 6, 83-88, (2000).

VAN HORN, H.H. *et al.* Components of Dairy Manure Management Systems. **Journal of. Dairy Science**. Vol 77, nº 7, pg 2008-2030, 1994. Disponível em: <<http://goo.gl/c4ZRV0>> Acesso em 02/04/2013.

VASCONCELLOS, M. A. S. & GARCIA, M. E. **Fundamentos de Economia**. Editora Saraiva, 3ª edição. São Paulo – SP, 2009.

VIDAL, A.C.F.; HORA, A.B. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial**, n. 33, p.261-314, 2011. Disponível em:

VIEIRA, H. F. **Gestão de estoques e operações industriais**. IESDE Brasil S.A. Curitiba, 2009.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa exploratória envolvendo a pesquisa bibliográfica, documental e experimental, entrevistas estruturadas, coleta de dados a campo, análises laboratoriais e estatísticas, metodologia utilizada quando se trata de problema com pouco ou nenhum estudo anterior, assumindo a forma de Estudo de Caso (GIL, 2002).

Através de contatos iniciais com produtores de leite que apontaram a necessidade de uma melhor destinação ao esterco de suas propriedades, teve início a busca por tecnologias para esses dejetos. Os produtores indicaram uma cooperativa agrícola disposta a participar da pesquisa e através de investigações nos relatórios anuais da empresa, em documentos eletrônicos e contatos telefônicos para identificação dos responsáveis de áreas da cooperativa (departamento veterinário, departamento agrônomo e gerência de produção) foram elaborados o planejamento de trabalho e roteiros de entrevistas.

A partir da visita técnica inicial e entrevistas preliminares delimitaram-se o objeto de pesquisa e as metodologias de amostragem e análise. Na sequência procederam-se as investigações a campo com entrevistas aos produtores e responsáveis de área da cooperativa e coleta de amostras.

Na sequência foram detalhados os procedimentos de amostragem e descrição da tecnologia utilizada neste trabalho.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada na CAPAL Cooperativa Agroindustrial localizada em Arapoti-PR, município localizado na mesorregião Centro Oriental Paranaense, na microrregião de Jaguariaíva. A eleição desta cooperativa teve por objetivo a uniformização dos dados e da credibilidade das informações relevantes à pesquisa e às fazendas onde foram coletadas as amostras.

A cooperativa foi fundada em setembro de 1960 e em 2014 somavam 1902 associados, distribuídos em mais de 50 municípios dos Estados do Paraná e São Paulo, incluindo os produtores de grãos e pecuaristas. A sede localiza-se em Arapoti, contando com cinco unidades de recebimento e armazenagem, fábrica de ração, lojas agropecuárias e posto de abastecimento de combustíveis (FIGURA 4).



FIGURA 3-1 – LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES DA CAPAL; ÁREA DE RECEPÇÃO E SECAGEM DE GRÃOS– COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL DE ARAPOTI-PR.  
Fonte: CAPAL (2014)

O boletim publicado em Painel Florestal de 9/3/2013 apontou que a região apresenta a mais completa cadeia produtiva florestal existente no país, gerando receitas superiores a R\$ 1,4 bilhões neste setor, envolvendo: 2 indústrias de celulose marrom; 1 fábrica de MDF; a maior fábrica de papel imprensa da América do Sul; a maior fábrica de papel LWC da América do Sul; 2 dos maiores produtores de molduras, painéis e componentes de portas de pinus do Brasil; 5 fábricas de compensados; 1 fábrica de pallets; 1 indústria de móveis para exportação; mais de 50 pequenas serrarias e 1 fábrica de briquetes e carvão vegetal que utiliza resíduos industriais e florestais da região, o que demonstra a alta demanda de produtos florestais (CARDOSO, 2013).

A madeira consumida para a caldeira e secadores da cooperativa provém da compra de toretes adquiridos da empresa Valor Florestal a um custo de R\$ 52,00/st em janeiro de 2015. A demanda regional de produtos florestais tem como consequência grandes variações nos preços. A Cooperativa, a fim de criar independência do fornecimento de madeira para energia e/ou reserva de contingência, adquiriu recentemente uma área de reflorestamento de 131 hectares

onde esperam que seja realizado corte das árvores aos 6 anos, em toretes de 1,2 m de comprimento e DAP 20 cm, com tempo de pré-secagem de 6 a 8 meses empilhados no pátio, nas mesmas condições da madeira comprada.

Embora a cooperativa utilize madeira como energia para os secadores de grãos e caldeira da fábrica de ração, apenas esta última é de relevância nesta pesquisa, uma vez que o esterco não pode substituir a madeira para os secadores convencionais sob o risco de afetar as propriedades sensoriais dos grãos.

A fábrica de ração utiliza uma caldeira mista flamotubular modelo WS CFQN para 4 ton vapor/hora em pressão 4/10 com consumo médio de 8m<sup>3</sup>/dia para temperaturas em torno de 80 a 90°C para extrusão (FIGURA 5), com a produção de 125,6 mil toneladas em 2014. As cinzas geradas retornam às áreas florestais para reposição mineral. Para 2016 a empresa iniciará as operações na unidade expandida da fábrica de ração, aumentando a produção para 320 mil toneladas e consumo de madeira esperado de 7.338 m<sup>3</sup> de madeira de eucalipto anualmente.

**a****b****c**

FIGURA 3-2 – CALDEIRA CAPAL – ALIMENTAÇÃO DA FORNALHA

- (a) Estoque imediato
- (b) Entrada da fornalha
- (c) Fornalha

Embora a cadeia produtiva do leite tenha expressivo destaque, principalmente em função da alta tecnologia e do rebanho de alto desempenho, é a cadeia agrícola que representa a maior parte do faturamento anual da cooperativa, responsável por 71% do faturamento bruto em 2013 e 69% em 2012 (CAPAL, 2014).

### 3.2 AMOSTRAGEM

Os produtores de leite que entregam o produto pela CAPAL em Arapoti somam 70 e destes a cooperativa considera que 42 produtores de leite são mais significativos devido à alta padronização do rebanho, condições de manejo e alta produção de leite e localizando-se em um raio de até 15 km da sede da empresa. A empresa não processa o leite e o mesmo é comercializado com a Batavo, VIGOR e FRISIA.

A FIGURA 3-3 identifica as principais granjas leiteiras dos produtores associados da CAPAL e as áreas de coleta de amostras.

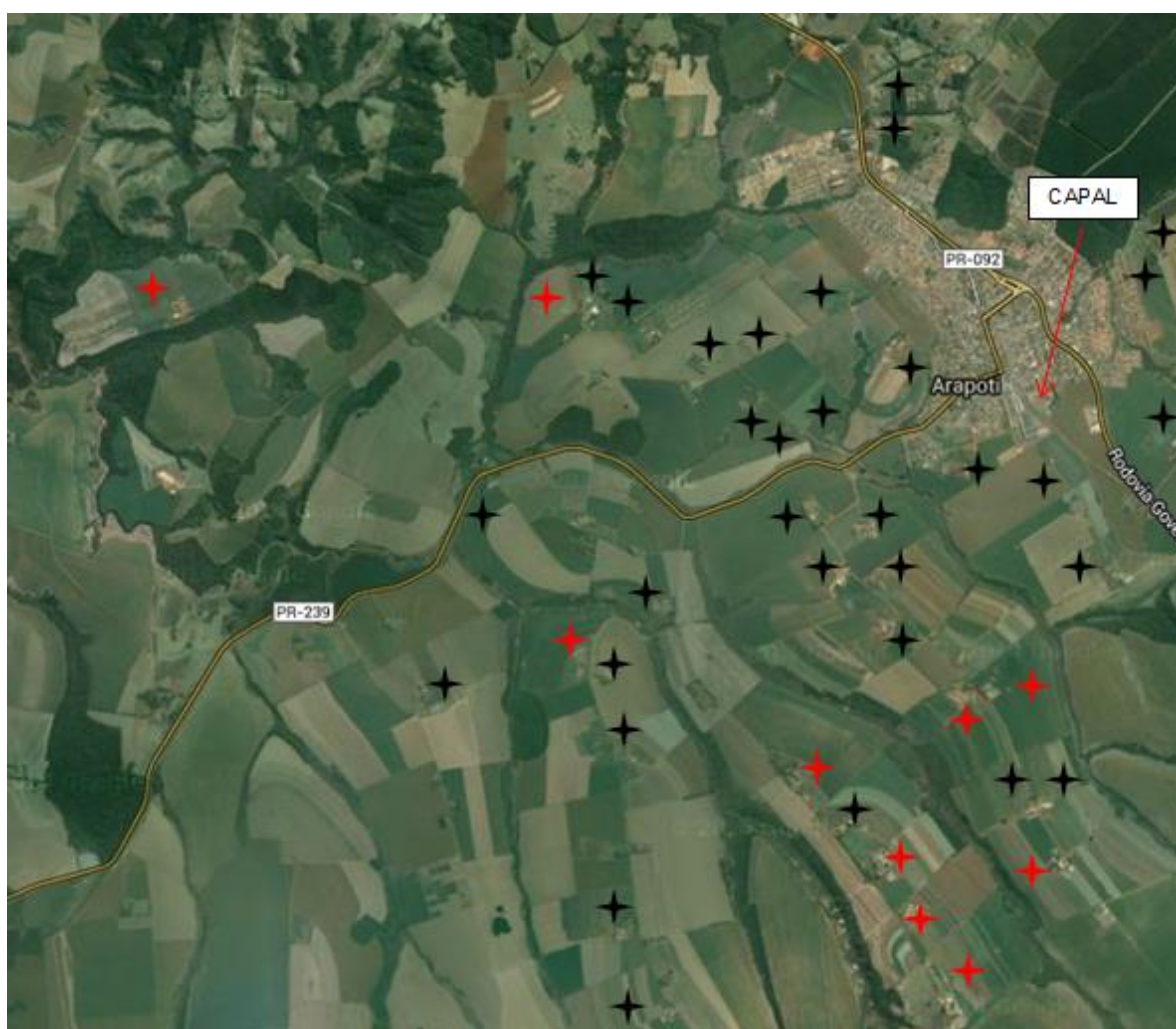


FIGURA 3-3 – LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS GRANJAS LEITEIRAS DE COOPERADOS DA CAPAL

★ Fazendas visitadas

★ ★ Principais produtores de Arapoti

FONTE: Adaptado de GOOGLE EARTH.



A figura foi adaptada do aplicativo Google Earth e, portanto, não se encontra em escala. A localização das propriedades foi realizada visualmente.

Foram coletadas amostras de esterco bovino em 10 granjas leiteiras (propriedades de associados da cooperativa) e separadas para a análise laboratorial com a seguinte denominação: EF (esterco fresco, recém defecado), ES (esterco das esterqueiras – dispostas para análise em ambiente controle) e ET (esterco das esterqueiras – dispostas para análise em ambiente natural). Também foram coletadas amostras de madeira do pátio da cooperativa.

Para a coleta de amostra da madeira foi considerado que os valores médios do poder calorífico do eucalipto encontrado em literatura e dados do Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal do Paraná UFPR apresentaram baixa variabilidade, dentro de um mesmo sítio e idade (VALE *et al.*, 2000; PROTASIO *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2007). Dessa forma coletou-se nove amostras da madeira utilizada na cooperativa em 3 pontos do pátio de armazenagem e em cada local foram coletadas amostras em 3 alturas de uma mesma linha vertical, caracterizando a amostragem como sistemáticas, estratificadas e preferencial, metodologia que, segundo Pillar (1996), é utilizada quando a propriedade avaliada é considerada uniforme na população (FIGURAS 3-4; 3-5; 3-6).

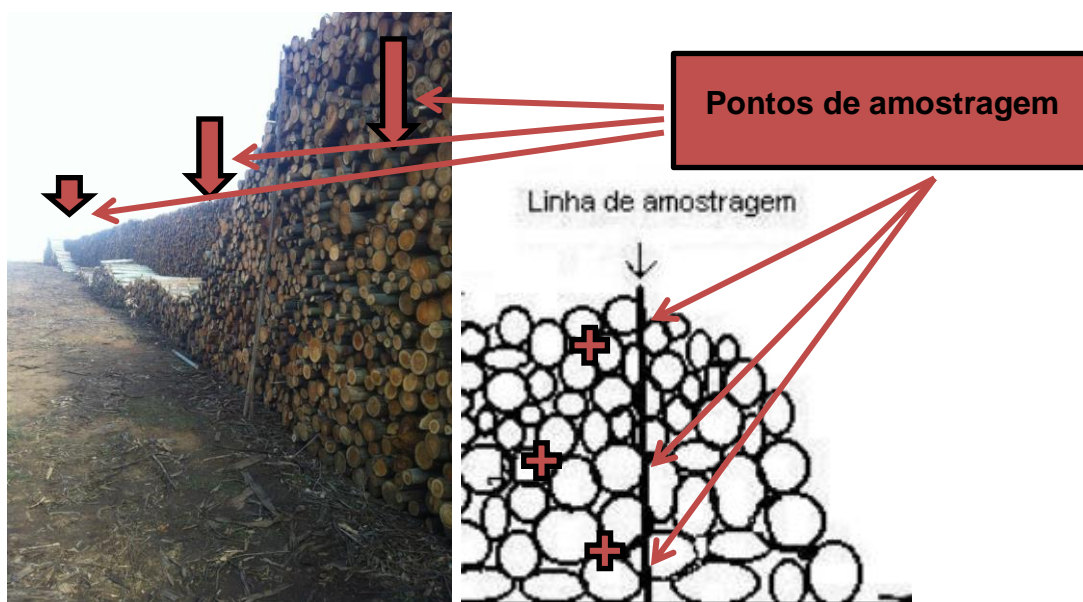


FIGURA 3-4 - ILUSTRAÇÃO DE PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DE MADEIRA



FIGURA 3-5 - ESTOQUE DE TORETES DE MADEIRA NO PÁTIO DA CAPAL (JULHO 2013)



FIGURA 3-6 – PÁTIO DE ESTOQUE DE MADEIRA PARA ENERGIA DOS SECADORES E CALDEIRAS

De cada torete foram retirados discos de 2,5 cm de espessura; subdivididos em cunhas opostas passando pela medula, pesados no laboratório (Peso verde – PV) e colocados em estufa até atingirem peso constante, para determinação do Peso seco (PS).

Foi feita a preparação conforme a Norma NBR 6923 para determinação de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas, composição elementar (CHONS) e Poder Calorífico.



O número de fazendas visitadas e coleta de amostras do esterco seguiu o método de amostragem não aleatória intencional, metodologia utilizada quando se deseja uma amostra composta por elementos de população selecionados intencionalmente, uma vez que a população possui características bem definidas e padronizadas (GIL, 2002). Coletaram-se amostras em 10 granjas leiteiras que permitiram a entrada na propriedade, a coleta e entrevistas, selecionadas pelo veterinário da cooperativa considerando os critérios de alta produtividade, homogeneidade do rebanho, características de manejo e distância da sede, correspondente a 25% das fazendas significativas em produção.

Em cada granja leiteira retirou-se dois tipos de amostras: amostra de esterco fresco (recém-defecado) e amostra das esterqueiras. Estas seguiram para o Laboratório de Energia da Biomassa, da Universidade Federal do Paraná, para a realização das análises laboratoriais.

As amostras de esterco fresco (EF) tiveram como propósito fornecer parâmetros sobre a interferência das condições de manejo do esterco nas propriedades energéticas, visto que, nos procedimentos diários é impossível a coleta do esterco individualizado, sem a contaminação por outros resíduos (FIGURA 3-7).



FIGURA 3-7 – EXEMPLO DE COLETA DE ESTERCO FRESCO (DO DIA)

O esterco fresco e os outros resíduos são acumulados em esterqueiras (FIGURA 3-8). Os resíduos referem-se a restos de alimentação, urina e a cama que

pode ser composta de maravalha, cepilho, colchão de raspas de borracha, areia ou serragem. Nas esterqueiras as coletas de amostras se deram em pontos e profundidade diferentes.



FIGURA 3-8 – ESTERQUEIRAS DE DUAS GRANJAS LEITEIRAS VISITADAS

As amostras de esterco (esterco fresco e esterco das esterqueiras) foram subdivididas para proceder as análises de perda de peso e análises laboratoriais, da seguinte forma (FIGURA 3-9):

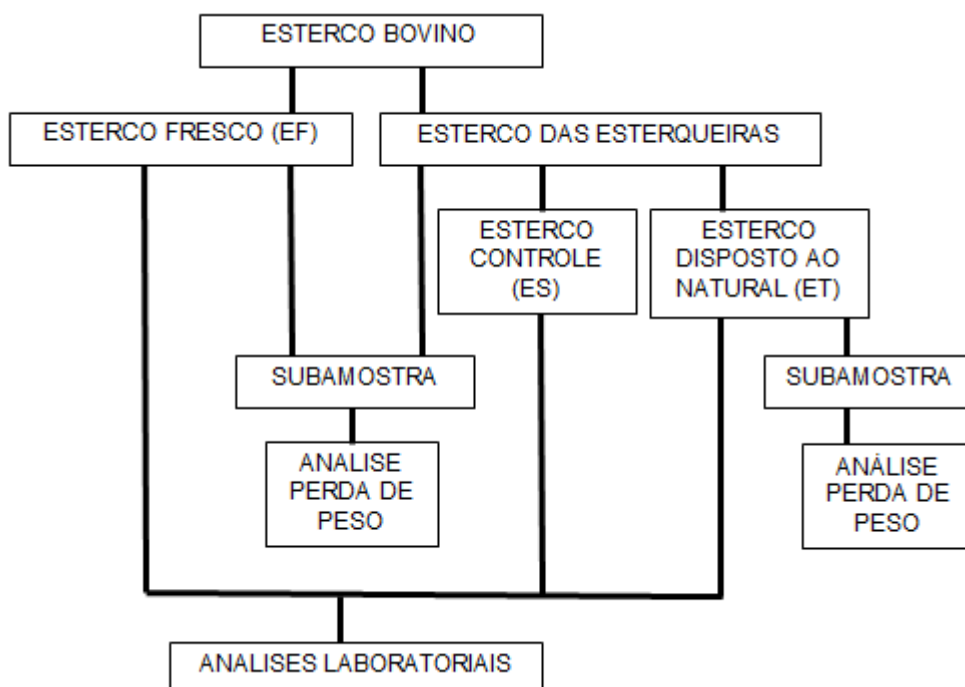


FIGURA 3-9 – DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE ESTERCO PARA AS ANÁLISES LABORATORIAIS

As amostras de esterco “controle” são as subamostras de esterco das esterqueiras colocadas em Becker de boca larga e em caixas abertas,



acondicionados em local coberto e ventilado, pesados regularmente para verificar a perda de peso. O procedimento teve por objetivo reduzir as interferências da chuva e do sol, e para facilitar a pesagem (FIGURA 3-10).

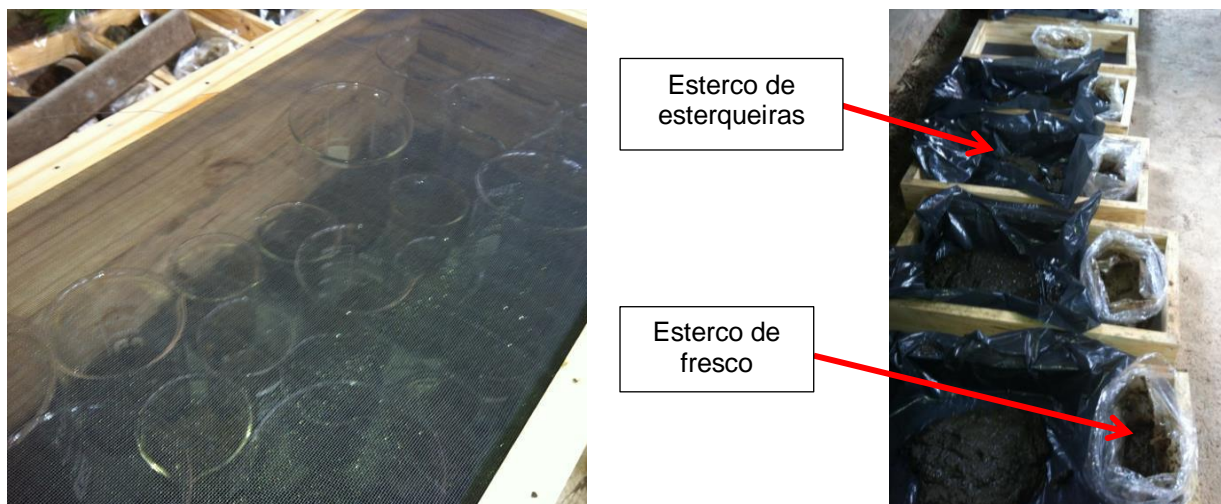


FIGURA 3-10 – SUBAMOSTRAS DE ESTERCO FRESCO E DAS ESTERQUEIRAS PARA CONTROLE

O esterco disposto ao ambiente natural são as subamostras colocadas em caixa de fundo de tela fina, dispostas para a secagem em local sujeito às intempéries (ET) (FIGURA 3-11).



FIGURA 3-11 – AMOSTRAS DE ESTERCO SUJEITAS A AÇÃO AMBIENTAL

Estas amostras permaneceram em secagem ao ar durante 30 dias. Foram realizadas, inicialmente, pesagens em intervalos regulares a cada 5 dias para avaliação de perda de peso.

A fim de obter o peso seco as amostras foram colocadas em estufa a 100°C com circulação de ar por 3 dias até alcançar o peso constante. Norma NBR 7993 da ABNT.

### 3.3 ANÁLISES TÉCNICAS E ECONÔMICAS

A metodologia utilizada para as análises das propriedades energéticas seguiram as normas estabelecidas para umidade, densidade, composição química elementar e imediata e para o poder calorífico, conforme será descrito nos capítulos subsequentes.

Os resultados obtidos nas análises laboratoriais foram submetidos à análise estatística através do software “STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM” (SAS 2003) em que se determinou análise de variância, teste F, e o teste de média pelo método de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os dados médios obtidos da madeira e esterco foram comparados e analisados através de estatística descritiva. Os tratamentos estatísticos permitiram avaliar as propriedades energéticas da madeira utilizada pela cooperativa e do esterco, bem como a interferência do manejo na qualidade do esterco.

O esterco bovino tem se restringido à substituição de adubos orgânicos devido à alta umidade e em função das condições ambientais das regiões de clima temperado. A eficiência do processo de combustão do esterco com menores prejuízos ambientais e os melhores usos como matéria prima ainda são estudados por vários países, e as melhores tecnologias existentes demandam alto custo no mercado nacional.

Foi realizado extenso levantamento bibliográfico e inúmeras entrevistas informais a produtores rurais e técnicos a fim de verificar o uso de tecnologias e condicionantes para o processamento de esterco. As dificuldades técnicas e/ou econômicas relatadas para a utilização de biodigestores, sistemas de compostagem, lagoas de estabilização e de equipamentos de pré-secagem do esterco (micro-ondas, vaporização e prensagem) apontam para as interações de clima, tempo, espaço físico e custo, como sendo as principais queixas.

Para solucionar este problema elegeu-se uma tecnologia para processamento do esterco (vaporização) a fim de avaliar a eficiência desta na redução da umidade do esterco a patamares compatíveis com a combustão. Critérios para eleição da tecnologia: facilidade e tempo de processamento, preço do equipamento e, principalmente, a disponibilidade da empresa fornecedora para testar o equipamento com o esterco.

O equipamento utilizado para a avaliação foi o vaporizador horizontal produzido pela empresa EcoProducts em parceria com a EMG do Brasil, situadas em Araucária-P.

O equipamento é composto por uma unidade de vaporização horizontal que permite a redução da umidade de biomassas diversas, de madeira a águas residuais, dispostos em alimentação contínua e granulometria diversa, umidade até 98%, resultando em matéria seca com até 15% de umidade. As biomassas passam por um triturador, sistema de aquecimento com ventilação e saem do equipamento à granel ou podem ser adensados em um compactador.

Para a análise econômica verificaram-se os dados de consumo energético das caldeiras da cooperativa e o custo da madeira armazenada. Com esses dados e as condicionantes técnicas do equipamento de vaporização para o processamento de esterco calcularam-se a quantidade de esterco em base úmida necessário para, após a vaporização, equivaler à quantidade energética, e o custo energético do esterco para a substituição da biomassa florestal. Assim sendo, foi idealizado um cenário para o processo do esterco conforme ilustrado na Figura 3-12. Os valores gerais de investimento para o equipamento serão descritos no subtítulo 9, Capítulo VI.

**Fracionador/vaporizador horizontal**



**Modelo fixo**



O esterco é recolhido nas esterqueiras das fazendas



E entregue na cooperativa para o processamento



FIGURA 3-12 – CENÁRIO PARA TRATAMENTO DO ESTERCO.

As demais metodologias utilizadas para o atendimento aos objetivos propostos serão citados nos Capítulos correspondentes.

## REFERÊNCIAS

CAPAL – **Relatório Anual Capal**, 2013, 2014, 2015. Disponível em: <<http://www.capal.coop.br>> Acesso último em 20/03/2015.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4a ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

LIMA, E.A. *et al.* Característica individual de árvores de *Eucalyptus benthamii* para uso energético. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** nº 35. Embrapa Florestas. Colombo-PR, outubro de 2007.

PILLAR, V.D. **O problema da amostragem em ecologia vegetal**. UFRGS, Departamento de Botânica, 1996. Disponível em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>

PROTASIO, T.P. *et al.* Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo – PR, v.31, n.66, p.113-122, abr/jun, 2012.

**SAS LEARNING EDITION**. Getting started with the SAS Learning Edition. Cary. 2003. 200p.

VALE, A. T. *et al.* A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex- maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, 6, 83-88, (2000).

## 4 CAPÍTULO I - QUALIDADE DO ESTERCO BOVINO COMO FONTE DE ENERGIA

### RESUMO

A bovinocultura leiteira moderna busca aumentar a eficiência produtiva o que tem como consequência uma grande produção de esterco, podendo chegar a 70 kg/animal/dia. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade energética do esterco proveniente de esterqueiras de fazendas especializadas na produção de leite da região dos campos gerais do Paraná, identificar os principais fatores que interferem nesta característica e sugerir o melhor processo de aproveitamento do esterco para energia. As características energéticas foram avaliadas através de análises da umidade, poder calorífico, análise química indireta e elementar. Os resultados em base seca demonstraram que o esterco bovino disponível para utilização tem em média um poder calorífico inferior de 2844 Kcal/kg (11907 kJ/kg) e um teor de cinzas médio de 27% e que há interferência do manejo do esterco nas fazendas principalmente sobre estas características. O uso do esterco para energia em processos de combustão, pirólise e gaseificação é limitado pelo alto teor de umidade (85,8%), necessitando de pré-secagem, e sua utilização em biodigestores tem limitação na relação C:N (14:1) devendo ser corrigida com a adição de outras biomassas.

**Palavras-chave:** bovinocultura leiteira, esterco de vaca, biomassa energética.

### QUALITY OF CATTLE MANURE AS AN ENERGY SOURCE

### ABSTRACT

The milk production farms are always searching for increasing the efficiency production whose consequence is a large amount of dung that can reach 70 kg / animal / day. The objectives of this research were: evaluate the energy quality of manure, identify the main factors affecting this feature and suggest the best process for energy using manure. The manure came from animal waste facilities of milk production farms located in the region of "Campos Gerais" (Paraná, Brazil). The energy characteristics were evaluated by moisture analysis, heating value, and proximate composition for moisture, ash, volatiles and fixed carbon, and ultimate elemental analysis for carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and sulphur. The results in dry basis showed that the manure available for use has an average lower heating value of 2844 Kcal / kg (11907 kJ / kg) and a content medium ash 27% and that these characteristics are interfered by the management of manure used on the farms. The use of manure for energy is limited by the high moisture content (85.8%) and pre-drying is required. Manure used in biodigesters are limited by the C: N ratio (14: 1) that must be corrected with others biomass addition.

**Key words:** dairy cattle, cow dung, biomass energy.



## 4.1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura leiteira é uma importante atividade na produção de alimentos básicos da pirâmide alimentar, tendo o consumo *per capita* em mais de 150 kg de leite por ano nos países desenvolvidos (TORRES *et al.*, 2000; FAO, 2013). No Brasil o rebanho de aproximadamente 22,8 milhões de vacas respondeu pela produção de 34,76 bilhões de litros de leite em 2013, com destaque aos Estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná, onde alguns produtores alcançam patamares acima de 7 mil litros de leite/animal/ano, em contraste com a média nacional de 1.492 litros de leite/animal/ano (IBGE, 2014).

A produtividade alcançada em bacias leiteiras especializadas atende às expectativas da sustentabilidade, buscando aliar a alta produtividade de leite com o menor uso da terra, através do melhoramento genético e uso de tecnologia aprimorada de manejo (instalações, sistema e frequência de ordenha, nutrição e sanidade). Porém, o sistema intensivo de criação, com alta densidade de animais por área, tem como consequência a grande geração e concentração de resíduos que varia entre 40 a 70 kg por animal/dia (KONZEN e ALVARENGA, 2005; LUCAS e SILVA, 2005).

O esterco bovino é mais usado como adubo orgânico, mas em condições e dosagens inadequadas pode causar impermeabilização do solo, indisponibilização de nutrientes para as plantas ou ser lixiviado causando eutrofização dos corpos d'água. Como fonte de energia o esterco ainda é utilizado por populações tradicionais, principalmente em países do Oriente (MLEKU, 2009).

Os processos de conversão do esterco em energia incluem a combustão, gaseificação, pirólise e digestão anaeróbia (SERIO *et al.*, 2002). Dependendo do processo, a queima do esterco pode alcançar a temperatura de 640°C (MLEKU, 2009), em poder calorífico superior médio entre 3.339 kcal/kg a 4.722 kcal/kg (13.979 kJ/kg a 19.770 kJ/kg) (CHIRAG *et al.*, 2011; SWEETEN *et al.*, 2010).

A eleição do processo depende de condições intrínsecas (umidade e composição química) e condições extrínsecas (clima, disponibilidade de espaço e de recursos para investimento em tecnologia, finalidade de uso, logística). O uso do esterco bovino em processos térmicos são limitados pela umidade e teor de cinzas, já para a produção de biogás a limitação se deve à relação carbono:nitrogênio do

material, clima e dificuldade de manutenção dos biodigestores (EMBRAPA, 2006; RAO & SINGH, 2004).

A quantidade e composição do resíduo das esterqueiras variam conforme a raça, idade, sistema nutricional, disponibilidade de água, temperatura ambiente e manejo do rebanho, podendo incluir, além das fezes e urina, a água de higienização dos estábulos, restos de alimentação e componentes das camas dos animais (SANTOS & NOGUEIRA, 2012), o que altera a qualidade da biomassa para energia. A caracterização energética da biomassa é fundamental para a eleição do melhor uso e tecnologia de conversão, observando-se a eficiência técnica e econômica,

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade energética do esterco bovino proveniente de esterqueiras de granjas leiteiras especializadas, as variáveis que podem interferir nas características energéticas desta biomassa e a recomendação para a utilização energética do esterco.

## 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para energia, nos sistemas usuais de criação de bovinos, é impraticável a coleta do esterco sem a contaminação por outros resíduos, pois necessitaria de confinamento individual e imobilidade dos animais. Dessa forma, a pesquisa utilizou as amostras de esterco bovino recém-defecado (esterco fresco - EF) como parâmetro para avaliar a interferência do manejo nas características energéticas do esterco das esterqueiras.

Foram coletadas amostras de esterco fresco (EF) e de esterco das esterqueiras (local de depósito do esterco e outros resíduos do confinamento) em dez fazendas leiteiras, no município de Arapoti – PR, selecionadas dentro de um universo de 42 fazendas caracterizadas pela alta padronização do rebanho e de produtividade, condições adequadas de manejo sanitário e nutricional, criados em sistemas intensivos, atendidos pela cooperativa CAPAL Agroindustrial e situadas em um raio de até 15 km da sede.

As amostras de esterco das esterqueiras foram subdivididas em: ES (esterco depositado em local coberto e ventilado, sem interferência direta da chuva ou do sol) e ET (esterco sujeito às ações ambientais, simulando as condições das esterqueiras

nas fazendas). Para algumas análises só foram realizadas os testes com o ET, visto ser esse o material realmente disponível para utilização.

As amostras encaminhadas ao Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal do Paraná para a caracterização energética receberam numeração de 1 a 10 (conforme a fazenda de coleta) e separadas em EF, ES e ET, na fazenda 5 não foi possível a coleta de ET devido às condições de instalação do fosso da esterqueira, totalizando 28 amostras. Na sequência foram levadas para secagem em estufa de circulação e renovação do ar em temperatura de  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  até atingir a massa constante para determinação do teor de umidade, conforme ABNT-NBR 7993/1983.

O poder calorífico demonstra a quantidade de energia na forma de calor que é liberada pela combustão de uma unidade de massa, sendo o Poder Calorífico Superior (PCS) quando a água formada durante a combustão é condensada e o calor da condensação é recuperado, e o Poder Calorífico Inferior (PCI), ou calor útil, correspondente ao PCS deduzido o calor necessário para vaporizar a água do combustível (umidade) e a água formada devido ao hidrogênio (CALEGARI *et al.*, 2005).

Para o poder calorífico superior (PCS) utilizou-se uma bomba calorimétrica adiabática automática, modelo IKA-WERKE®, de acordo com ABNT-NBR 8633/1994 e o poder calorífico inferior (PCI) calculado através da Equação 4-1:

$$PCI = PCS - \left( \frac{600 \times 9H}{100} \right) \quad \text{Equação 4-1}$$

Em que:

$PCI$  = Poder calorífico inferior em kcal/kg;

$PCS$  = Poder calorífico superior em kcal/kg;

$H$  = Teor em hidrogênio em %;

600 = Calor de condensação da água a  $0^\circ\text{C}$ ;

9 = Quantidade de água, em kg, que se forma ao oxidar um kg de H.

A Análise Química Imediata para a determinação dos teores de material volátil (MV), carbono fixo (CF) e cinzas (CZ) seguiram a norma ABNT-NBR 8112/1986. O percentual de carbono fixo identifica o material que se queima no estado sólido, ou seja, a fração de carvão que permanece na amostra após a queima dos materiais voláteis. Estes constituem a parte do combustível que se volatiliza quando aquecido a altas temperaturas. As cinzas são os compostos minerais residuais da combustão da biomassa (BRAND, 2010).

Os resultados foram avaliados com base em análise estatística através do software “Statistical analisys system” para análise de variância, teste F e teste de média pelo método de Tukey a 5% de probabilidade de erro, para a identificação da interferência das variáveis: diferença de manejo das fazendas e interferência de outros resíduos nas propriedades energéticas do esterco.

A identificação da composição elementar nas amostras de ET, nas condições de utilização para diversos fins, foi realizada em analisador universal da marca Elementar® (modelo Vario Micro Cube CHNS-O) para carbono - C, nitrogênio - N, hidrogênio - H, oxigênio - O e enxofre - S, identificando as relações de C:N e C:H que podem interferir em determinados tratamentos térmicos.

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ET é o esterco usualmente disponível para coleta e aproveitamento e que têm uso como fertilizante após a estabilização em lagoas anaeróbias naturais por, no mínimo, 40 dias.

As análises do PCS e o PCI das amostras do ET apresentaram os seguintes valores:  $3125 \pm 902$  kcal/kg e  $2844 \pm 871$  kcal/kg ( $13083 \pm 3778$  kJ/kg e  $11907 \pm 3649$  kJ/kg) respectivamente. O resultado do poder calorífico para o esterco é compatível com o obtido por Parsameh (2012) de 3290 kcal/kg e inferior ao resultado de Sweeten *et al.* (2010) de 4722 kcal/kg. É equivalente ao PCS da lenha de 3300 kcal/kg (EPE, 2014) e a outras biomassas conforme citado por Quirino *et al.* (2005) como: palha de milho (3570 kcal/kg), casca de arroz (3730 kcal/kg) e bagaço de cana (3700 kcal/kg).

A análise química imediata para MV, CF e CZ resultou em  $59,85\% \pm 13,96\%$ ,  $13,10\% \pm 2,93\%$  e  $27,05\% \pm 16,78\%$ , na sequência. Valores próximos utilizando o esterco bovino foram verificados por Backes (2011) que obteve valores de MV em torno de 70%; CHIRAG *et al.* (2011) apresentaram valores do esterco de 45,6% para MV, 20% de CF e 27% de CZ.

Protasio *et al.* (2012) observaram que, geralmente, os teores de cinzas de biomassa florestal são menores que das biomassas de origem agrícola (QUEIROZ *et al.*, 2014). Rendeiro *et al.* (2008) salientam ainda que, dependendo da composição

e da temperatura do processo, as cinzas podem ocasionar problemas de corrosão dos equipamentos e de fusão das mesmas, promovendo a obstrução dos equipamentos. A variação dos resultados indicam que há interferência ambiental na qualidade energética do esterco, concordando com Foged (2012) e Chirag *et al.* (2011).

A análise de variância (TABELA 4-1) considerando as dez fazendas e os três tratamentos propostos (EF, ES e ET) demonstra que há diferença entre o manejo das 10 fazendas, a forma de exposição do esterco (EF, ES e ET) e para a interação fazenda frente ao tratamento proposto, para todas as variáveis.

**TABELA 4-1 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI), CARBONO FIXO (CF), MATERIAIS VOLÁTEIS (MV) E CINZAS (CZ) DO ESTERCO BOVINO DAS PROPRIEDADES RURAIS AMOSTRADAS EM TRÊS TRATAMENTOS (ESTERCO FRESCO - EF, ESTERCO DE ESTERQUEIRAS SOBCONTROLE - ES E ESTERCO DE ESTERQUEIRAS EM AMBIENTE NATURAL - ET).**

Efeito Principal							
Fator de Estudo	GL	Quadrado Médio					
		PCS	PCI	CF	MV	CZ	
Fazenda	9	1686859,44*	1438213,23*	44,37*	671,17*	1053,56*	
Tratamento	2	2940701,53*	3028819,93*	91,71*	959,66*	1465,08*	
Fazenda x Tratamento	16	401222,59*	409278,01*	6,37*	119,58*	173,01*	
Coeficiente de determinação		0,96	0,95	0,96	0,97	0,98	
Coeficiente de variação (%)		6,92	7,57	5,6	3,8	11,0	
Efeito Simples							
Fazenda x Tratamento							
Fazenda	1	2	34338 ns	39175 ns	6,05*	45,84*	44,59*
	2	2	316276*	281722*	10,88*	97,96*	151,55*
	3	2	47922 ns	67262 ns	2,83*	35,91*	40,32*
	4	2	65947 ns	36272 ns	7,74*	37,68*	22,45 ns
	5	2	-	-	-	-	-
	6	2	335958*	272928*	7,69*	148,83*	222,75*
	7	2	1668676*	1528387*	30,44*	678,02*	991,10*
	8	2	3697896*	3442840*	67,85*	786,77*	1312,24*
	9	2	36618 ns	18649 ns	3,40*	40,39*	22,59 ns
	10	2	255260*	917125*	5,80*	44,92*	41,59*
Tratamento	EF	9	62441 ns	45980 ns	5,72*	42,10*	73,93*
	ES	9	960777*	817163*	27,05*	286,28*	484,19*
	ET	9	2042013*	1887543*	29,17*	660,57*	963,93*

Em que: \* = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro, conforme a distribuição de Fischer; ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro, conforme a distribuição de Fisher; - = não avaliado.

O efeito simples da análise de variância indica que nas fazendas 1, 3, 4 e 9

não há diferenças significativas nas variáveis PCS e PCI em função dos resultados no tratamento EF. A análise de variância significativa na composição de MV, CF e CZ aponta para diferenças no manejo nutricional entre as fazendas, principalmente no fornecimento de minerais, tendo CZ apresentado o maior coeficiente de variação.

Os resultados de ES e ET indicam que o manejo do esterco nas fazendas interfere nas propriedades energéticas, visto que apenas para o EF o efeito simples entre propriedade e tratamento para o PCS e PCI não é significativo.

Em geral o que não demonstra diferença no efeito simples da análise de variância não apresenta diferença também no teste de média para a variável em questão, como pode ser observado na Tabela 4-2.

**TABELA 4-2 TESTE DE MÉDIAS PARA PCS, PCI, CF, MV E CZ DO ESTERCO.**

Fazenda	Tratamento					
	PCS			PCI		
	EF	ES	ET	EF	ES	ET
1	3852 ab A	3599 a A	3786 a A	3652 ab A	3599 a A	3545 a A
2	4092 a A	3432 a B	3440 a B	3834 a A	3432 a B	3220 ab B
3	3841 ab A	3546 a A	3778 a A	3598 ab A	3546 a A	3539 a A
4	3895 ab A	3545 a A	3633 a A	3601 ab A	3545 a A	3400 ab A
5	4047 a	-	-	3634 ab	-	-
6	3925 a A	3346 a B	3133 a B	3642 ab A	3346 a B	2922 ab B
7	3431 b A	2309 b B	1764 b C	3232 b A	2309 b B	1642 c C
8	3911 a A	1974 b B	1471 b C	3698 a A	1974 b B	1339 c C
9	3916 a A	3710 a A	3966 a A	3665 ab A	3710 a A	3663 a A
10	3867 ab A	3507 a AB	3153 a B	3621 ab A	3507 a A	2328 bc B

Fazenda	Tratamento								
	CF			MV			CZ		
	EF	ES	ET	EF	ES	ET	EF	ES	ET
1	17,05 ab A	17,08 a A	14,61 a B	69,56 abc A	61,92 a B	67,16 ab AB	13,39 bc B	21,0 b A	18,23 de A
2	17,3 ab A	16,83 a A	13,79 a B	71,56 a A	62,05 a B	61,32 bc B	11,14 c B	21,12 b A	24,89 cd A
3	17,32 ab A	16,49 a AB	15,38 a B	67,82 c A	61,34 a B	66,67 ab A	14,86 b B	22,17 b A	17,94 de AB
4	17,09 ab A	17,18 a A	14,35 a B	67,85 c A	62,46 a B	69,15 a A	15,07 b B	20,36 b A	16,5 de AB
5	18,47 a	-	-	69,73 abc	-	-	11,8 c	-	-
6	16,13 b A	13,71 b B	13,1 a B	70,73 ab A	58,4 a B	58,65 c B	13,15 bc B	27,9 b A	28,25 c A
7	13,19 c A	8,96 c B	6,82 b C	57,98 d A	39,02 b B	28,58 e C	28,83 a C	52,02 a B	64,6 a A
8	17,25 ab A	10,28 c B	8,15 b C	67,91 c A	41,34 b B	38,57 d B	14,85 b C	48,38 a B	53,28 b A
9	16,4 ab A	17,14 a A	15,04 a A	67,98 c A	62,73 a B	69,79 a A	15,63 b B	20,13 b A	15,17 e B
10	16,74 ab A	16,54 a A	14,24 a B	68,63 c A	61,38 a B	67,37 ab A	14,63 b B	22,08 b A	18,39 de AB

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro conforme a distribuição de Tukey; médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro, conforme a distribuição de Tukey; - = não avaliado.

O EF, de maneira geral, apresenta menor variação nas médias de poder calorífico e CF. Para este tratamento (EF) os MV e CZ apresentam maiores variações. O resultado do poder calorífico é menor que o encontrado por Rosa (2009) em análise do conteúdo ruminal bovino com valor médio de PCI de 3981 kcal/kg (166710 kJ/kg), visto que este conteúdo não sofreu o processo de digestão.

De maneira geral pode-se observar entre a diferença dos valores de EF e ET que a disposição do esterco nas esterqueiras em função dos outros resíduos adicionados e de processos físicos e biológicos que ocorrem durante o período de depósito, há a redução do PCS, PCI, CF e MV, e aumento de CZ. Sweeten *et al.* (2010) demonstrou que dependendo do tipo de pavimento utilizado no confinamento o teor de cinzas do esterco pode aumentar de 15% para 40-60%.

Para o ET as fazendas 7 e 8 apresentaram os menores PCS e PCI e os maiores teores de cinzas. A fazenda 7 foi a que apresentou o menor PCS, PCI, CF e MV e o maior CZ para EF, ES e ET.

O ponto crítico para o uso do esterco como biomassa energética é o teor de umidade do composto (esterco, urina e outros resíduos) com médias de 20 a 50% de umidade, podendo chegar a 90% (SWEETEN *et al.*, 2010). A média da umidade em base úmida para ET encontrado neste trabalho foi de 85,90%, necessitando de pré-secagem para combustão. Nas condições do experimento o ET em secagem natural alcançou a umidade de 36,12% em quarenta dias (entre os meses de junho e julho), correspondente a um valor de PCI em 2000 kcal/kg, o que seria equivalente ao PCI de cavaco de serraria e de serragem (2100-2400 kcal/kg) em umidade de 35 a 45%, conforme citado por Schurhaus (2007).

Durante os primeiros 40 dias a perda de umidade observada é mais acentuada nas primeiras semanas (MLEKU, 2009) ao qual nesta pesquisa observou-se que o esterco se apresenta com alta higroscopia, absorvendo rapidamente a água de precipitação, possivelmente em função da baixa densidade do material. Também foi observado que, em ambiente natural e sem revolver o esterco, a umidade fica retida em perfil mais próximo do solo, abaixo da crosta de matéria seca que se forma na superfície, prejudicando a perda de umidade depois dos estágios iniciais.

A análise elementar, segundo QUÉNO (2009) também é importante na caracterização energética, pois altos teores de nitrogênio na biomassa podem gerar óxido de nitrogênio durante a queima e o cálcio e cloreto quando presentes podem

promover a corrosão do equipamento. Reis (2012) afirma que para energia as biomassas devem conter menores quantidades de oxigênio e elevados teores de carbono e hidrogênio, que apresentam correlação direta com o poder calorífico.

A composição química elementar identifica as porcentagens de C, H, O, N e S presentes na biomassa, permitindo avaliar as relações entre C:H e C:N, que identificam o potencial decompositor do resíduo (EMBRAPA, 2006). Os resultados desta pesquisa apontaram que os teores de C, H, O, N e S para o ET em, respectivamente, 25,38%, 3,49%, 68,43%, 2,3% e 0,4%.

A relação C:N do ET é de 11,03:1, valor próximo ao obtido por Araújo *et al.* (2007) de 14:1. Altas relações C:N implicam em uma quantidade menor de nitrogênio a ser liberada para o ambiente após a combustão da biomassa (PROTASIO *et al.*, 2012) e aumentam o tempo de compostagem. Ao contrário, relações baixas têm rápida decomposição e aumentam a formação de amônia (EMBRAPA, 2006).

O indicado para processos de compostagem é a relação de C:N 25-35:1 e para dar início ao processo de biodigestão a relação ótima situa-se entre 20-30:1 (RAO & SINGH, 2004). Ou seja, a relação C:N do esterco bovino (ET) desta pesquisa é menor que o indicado para o uso em compostagem ou biodigestores, sendo fundamental a correção desta relação através da adição de materiais como serragem, maravalha ou outros resíduos agrícolas (Kiehl, 1998).

Segundo Protasio *et al.* (2012), baixos valores de hidrogênio resultam em uma alta relação C/H, que é indesejável quando se visa à produção de energia. Pequenos acréscimos no teor de hidrogênio promovem elevado ganho no valor calórico dos combustíveis de biomassa. A relação C:H do ET é de 7,27:1, próximo aos resultados encontrados por Reis *et al.* (2012) para *Eucalyptus urophylla* (7,62:1) e de *Eucalyptus grandis* (7,68:1) encontrado por Eloy (2015), espécies utilizadas em cultivos energéticos.

Pesquisa realizada por Amaechi & Ahaotu (2014) envolvendo a composição de material energético baseado em pó de serra e esterco demonstrou que o aumento do teor de esterco no composto aumenta o teor de cinzas, nitrogênio e de enxofre e reduz o teor de material volátil. A presença de materiais voláteis entre 79-80% caracterizam um substrato com alta possibilidade de biodegradação aeróbica ou anaeróbica (SANTOS, 2004), o que contrasta com os resultados desta pesquisa para o ET que tem MV médio de 59%.



Serio *et al.* (2002) citam que, experimentalmente, o poder calorífico médio do biogás da digestão anaeróbia em 5880 kcal/m<sup>3</sup> (24618 kJ/m<sup>3</sup>), da gaseificação em 1260 kcal/m<sup>3</sup> (5275 kJ/m<sup>3</sup>) e do processo de pirólise podem resultar gases combustíveis com a média de 3780 kcal/m<sup>3</sup> (15826 kJ/m<sup>3</sup>), e que tecnologias de grande escala para redução da umidade e processos térmicos devem ser adaptadas para que o esterco seja um combustível eficiente.

Rosa (2009) verificou que as emissões da queima de conteúdo ruminal em termos de dioxinas, furanos e metais ficaram abaixo dos limites legais de emissões atmosféricas.

Nas esterqueiras o esterco (ES e ET) recebe outros resíduos do manejo como a urina, restos das camas (saibro, areia, colchão ou raspas de borracha), alimentação volumosa, resíduos de higienização e sanitização que, conforme o resultado da análise alteram as características energéticas do esterco.

#### 4.4 CONCLUSÃO

As análises de qualidade energética do esterco bovino proveniente de esterqueiras de granjas leiteiras especializadas demonstram que o esterco seco possui características favoráveis ao uso como energia, sendo equivalente a outras biomassas energéticas de uso corrente. Tem como fatores restritivos os altos teores de umidade e de matéria mineral do material estocado.

A comparação entre o esterco fresco e o esterco das esterqueiras permitiu verificar que condições extrínsecas interferem na qualidade energética do esterco, principalmente na formação de cinzas, como o manejo dos resíduos da atividade pecuária leiteira intensiva. Há indícios de que o manejo nutricional com o fornecimento de minerais na dieta dos animais também pode alterar a composição do esterco.

O uso do esterco bovino em processos de compostagem e biodigestão necessitam da correção da relação C:N, e nos processos térmicos (combustão, pirólise e gaseificação) precisam de redução da umidade através de pré-secagem

da biomassa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7993: Determinação da umidade por secagem em estufa reduzida a serragem.** Rio de Janeiro, 183.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: Determinação do poder calorífico superior.** Rio de Janeiro, 1984.

AMAECHI, J.N. e AHAOTU, E.O. Effectiveness of briquetting bio mass materials with diferente ratios in 30 Kw down draft gasifier. **International jornal of applied sciences & engineering**, 2 (1): 13-17. Disponível em: <<http://ijapscengr.com>> Acesso em 24/5/2014.

ARAÚJO, E.N.; OLIVEIRA, A.P.; CAVALCANTE, L.F.; PEREIRA, W.E.; BRITO, N.M.; NEVES, C.M.; SILVA, E.E. Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p.466-470, 2007. Campina Grande – PB. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>> Acesso em: 14/8/2010.

BACKES, G. M. **Avaliação do processo de digestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta oriunda da produção de biodiesel.** Dissertação. Centro Universitário UNIVATES, Lajeado – RS, 2011

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal.** Editora Interciência, Rio de Janeiro – RJ, 2010.

CALEGARI, L. *et al.*. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Sul do Brasil. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p. 37-46, 2005.

CHIRAG, K.M *et al.*. Smoldering combustion of biomass particles. **Journal of Applied Sciences**, 11:1862-1866, 2011. On line. Disponível em: <<http://scialert.net/fulltext/?doi=jas.2011.1862.1866&org=11>>. Acesso em: 23/04/2014.

ELOY, E. **Produção e qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do Rio Grande do Sul, Brasil.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

EMBRAPA Agrobiologia. **Cultivo de café orgânico.** 2ª edição, versão eletrônica dezembro, 2006. Acesso em: 23/09/2014. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas, Ministério de Minas e energia. **Balanço Energético nacional**, 2014.

FAO - Food and Agricultural Organization for United Nations. **Mild and dairy products in human nutrition**. Roma, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 29/09/2014.

FOGED, H. L. **Livestock Manure to Energy – Status, technologies and innovation in Denmark**. Agro Business Park A/S, December, 2012. Dinamarca. Disponível em: <<http://goo.gl/UdFqMv>> Acesso em 23/09/2014.

IBGE. **Produção da pecuária municipal 2013**. V.41, p.1-108. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 19/01/2015.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 1998. 171 p.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agrônômicos e ambientais. EMBRAPA, **Circular técnica nº 63**. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, Sete Lagoas – MG. Dezembro, 2005.

LUCAS, J.J.; SILVA, F.M. **Biogás, produção e utilização**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2005, 8p.

MLEKU, D. The materiality of dung: the manipulation of dung in Neolithic Mediterranean caves. **Documenta Praehistorica** XXXVI (2009). Disponível em: <<http://arheologija.ff.uni-lj.si/mlekuz/mlekuz36.pdf>> Acesso em: 3/9/2013.

PARSAMEHR, M. **Heat generation by cow dung incineration in the north of Iran**. Master Science, Environmental Engineering Department, Mid Seden University, 2012. Disponível em: < <http://goo.gl/xpWFRQ> > Acesso em: 04/10/2014.

PROTASIO, T.P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G.H.D.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; GUIMARÃES JR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo – PR, v.31, n.66, p.113-122, abr/jun, 2012

QUEIROZ, M.B.; FERREIRA, M.M.C.; RAMBO, M.K.D. **Correlação entre o poder calorífico e a composição química de biomassas lignocelulósicas**. Anais: 37ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 26 a 29 de maio de 2014, Natal - RN. Disponível em: < <http://goo.gl/H8S000> > Acesso em 15/10/2014.

QUÉNO, L. R. M. **Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia**. Dissertação. Programa de pós graduação em engenharia florestal da Universidade de Brasília. Brasília, DF, 64p. 2009.

QUIRINO, W.F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira** nº 89, p.100-106, 2005. On line. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/cadastro.php>> Acesso em 18/05/2012.

RAO, M.S.; SINGH, S.P. Bio energy conversion studies of organic fraction of MSW: kinetic studies and gas yield-organic loading relationships for process optimization. **Bioresource Technology**, 95:173-185, 2004

REIS, A.A.; PROTÁSSIO, T.P.; MELO, I.C.N.A.; TRUGILHO, P.F.; CARNEIRO, A.C. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v.32. n.71, p.277-290, jul/set, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb>> Acesso em: 23/8/2013.

RENDEIRO, G. *et al.* **Combustão e gaseificação de biomassa sólida**. Soluções energéticas para a Amazônia. Ministério de Minas e Energia. 1ª Edição, Brasília – DF, 2008. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/inct-ereea/LivroBiomassaFinal.pdf>> Acesso em 22/10/2014.

ROSA, A. P. **Avaliação da viabilidade técnica e ambiental do uso do conteúdo ruminal bovino como biocombustível**. Dissertação. Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

SANTOS, J. H. T. **Avaliação de um sistema de aquecimento do substrato na biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos**. Dissertação. Viçosa: UFV, 2004.

SANTOS, I. A.; NOGUEIRA, L. A. H.. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.4, n.1, p.41-49, abr.2012.

SCHURHAUS, P. **Produtos e propriedades energéticas da madeira**. Centro universitário de União da Vitória. Engenharia Industrial da Madeira. 2007. Disponível em: <<http://www.hasten.eng.br>> Acesso em: 23/12/2014.

SERIO, M.A. *et al.*. Pyrolysis processing of animal manure to produce fuel gases. Advanced fuel research, inc. **Fuel Chemistry Division Preprints** 2002, 47(2), 588; USA. Disponível em: <[https://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/47\\_2\\_Boston\\_10-02\\_0316.pdf](https://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/47_2_Boston_10-02_0316.pdf)> Acesso em: 29/3/2014.

SWEETEN, J.M. *et al.*. Cattle manure for energy production. **AgriLife Research**, Texas A&M System. Texas AgriLife Research and Extension Center at Amarillo, USA, 2010. Disponível em: <<http://www.amarillo.tamu.edu>> Acesso em: 02/07/2014.

TORRES, E.A.F.S. *et al.*. Composição Centesimal e Valor Calórico de Alimentos de Origem Animal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v.20. n.2, 2000.

## 5 CAPÍTULO II - O ESTERCO DE VACAS COMO FONTE ENERGÉTICA PARA SUBSTITUIÇÃO DA MADEIRA USADA EM CALDEIRA.

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o esterco de vacas leiteiras para a substituição da madeira, através da análise comparativa das características energéticas de amostras de madeira utilizada como fonte de energia para caldeira da Cooperativa Agroindustrial de Arapoti – PR e de esterco coletado em fazendas atendidas pela cooperativa. Os grandes volumes de esterco resultante da atividade leiteira de alta produção muitas vezes não têm destino adequado, e o reduzido número de pesquisas sobre o assunto motivou esta pesquisa cujos resultados demonstraram que o esterco apresentou características energéticas inferiores à madeira. Porém, o esterco a 15% de umidade pode substituir a madeira para energia das caldeiras na proporção aproximada de 1,3:1.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poder calorífico do esterco, *Eucalyptus grandis*, bovinocultura leiteira.

### COW MANURE AS POTENTIAL ENERGY SOURCE TO REPLACE WOOD USED IN BOILER

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the manure of dairy cows to replace the wood, through the comparative analysis of the energy characteristics of wood samples used as an energy source for boiler of Agroindustrial Cooperative Arapoti - PR and manure collected on associated farms. Specialized dairy farms can produce large volumes of manure and often do not have proper destination, and there is a few number of researches on the subject, what has motivated this study whose result showed that the manure had lower energy characteristic than wood. But the manure at 15% moisture can replace wood for energy into boiler in the ratio of approximately 1.3:1.

**KEYWORDS:** Heating value of cow manure, *Eucalyptus grandis*, dairy cattle.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Estima-se que a Terra terá 9,5 bilhões de habitantes em 2050, com perspectiva de aumento em mais de 60% da demanda por alimentos e a consequente elevação da demanda por energia (FAO, 2014). Este fato aliado à exigência de redução de impactos ambientais torna obrigatória a busca por fontes energéticas menos agressivas ao meio ambiente.

Na matriz energética brasileira, 41% da oferta interna se referem às energias renováveis, dos quais 8,3% de lenha e carvão vegetal, grande parte utilizada como fonte de energia em caldeiras e secadores. O crescimento da demanda por madeira, seja para a indústria ou uso energético, pode levar a um déficit no fornecimento, tirando o Brasil da autossuficiência na produção e consumo de lenha (EPE, 2014). Como exemplo, no Estado do Paraná há a previsão de expansão da produção agrícola em 15,7%, necessitando de um aumento em 9,9% de área florestal, somente para atender a demanda energética para a secagem de grãos (BELL, 2013).

Por outro lado, o crescimento populacional impulsionado pelo desenvolvimento de tecnologia e distribuição de renda, fez aumentar o consumo de leite e derivados, resultando no aumento e concentração de resíduos da bovinocultura leiteira. Do efetivo rebanho bovino nacional estima-se que há 22,87 milhões de vacas em lactação. Considerando a produção média de esterco e urina citados por Van Horn *et al.* (1994) de 56,7 a 88,4 kg/dia/vaca, a estimativa desses resíduos no Brasil pode variar entre 1,3 a 2 milhões de t/dia, com consequências ambientais e econômicas, visto que não há utilização integral e destinação racional ao excedente desse material.

O esterco, se mal manejado, armazenado, ou distribuído, pode causar grandes impactos ambientais ou, devidamente tratado, pode ser utilizado como adubo orgânico, geração de energia (produção de metano e combustão) e ração para peixes. O maior uso ainda é na fertilização do solo, porém, nem todo o esterco pode ser aplicado e o excesso é um passivo ambiental (SERIO *et al.*, 2002). O uso como ração tem limitações sanitárias e a produção de metano em biodigestores em regiões de clima ameno não é eficiente (PARSAMEHR, 2012).

MLEKU (2009) avaliou o uso do esterco para energia e considerou como

benefícios: menor custo que o uso de combustíveis modernos, a eficiência energética, a redução da pressão sobre os recursos florestais e sobre o meio ambiente e por ser uma fonte sustentável e renovável de energia.

Este trabalho foi motivado pela expectativa de dar uma melhor destinação ao excedente de esterco produzido em fazendas de alta produtividade de leite da região de Arapoti – PR. Tem por objetivo comparar as características energéticas do eucalipto, utilizado como fonte de energia para a produção de vapor em caldeira da Cooperativa Agroindustrial de Arapoti – PR, com o esterco das vacas confinadas, para possível substituição da madeira.

## 5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no município de Arapoti – PR onde foram recolhidas amostras de madeira, utilizadas como fonte de energia para caldeiras da CAPAL – Cooperativa Agroindustrial, e amostras de esterco recolhido em esterqueiras de fazendas leiteiras atendidas pela cooperativa. A coleta foi realizada entre os meses de abril e junho de 2013.

A madeira utilizada na caldeira é da espécie *Eucalyptus grandis*, entregue à cooperativa logo após o corte, permanecendo armazenada no pátio durante 6 a 8 meses para a perda de umidade. Foram recolhidas 9 amostras retiradas de 3 pontos do pátio de estocagem, em 3 alturas das pilhas de madeira.

O rebanho total de associados da cooperativa gira em torno de 6.000 vacas em lactação. Foram recolhidas amostras de esterqueiras em 10 fazendas que juntas somam 2.120 vacas de alta produção leiteira. As fazendas apresentam aprimorada seleção genética do rebanho, grandes investimentos em tecnologias de manejo e de instalações.

A caracterização energética das biomassas foi realizada quanto aos teores de: umidade, poder calorífico (superior e inferior), composição química elementar e imediata (materiais voláteis, carbono fixo e cinzas) conforme citado por Brito & Barrichelo (1978). As amostras recolhidas foram encaminhadas para o Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal do Paraná para a realização das análises.

Das amostras de madeira foram retirados discos de 2,5cm de espessura, subdivididos em cunhas opostas passando pela medula. As cunhas foram pesadas (peso verde) e colocadas em estufa até atingirem massa constante (peso seco), conforme ABNT NBR 7993/1983 para determinação da umidade por secagem em estufa a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ . A mesma norma foi adaptada para a determinação da umidade do esterco.

A Análise Química Imediata (AQI) para MV – materiais voláteis, CF – carbono fixo e CZ – cinzas foram realizadas conforme ABNT NBR 8112/1986 e a análise elementar foi realizada em equipamento da marca Elementar®, modelo Vario Micro Cube CHNS-O, para carbono - C, nitrogênio - N, hidrogênio - H, oxigênio - O e enxofre - S.

O poder calorífico superior (PCS) foi obtido em bomba calorimétrica adiabática automática, modelo IKA-WERKE® C5000, conforme ABNT NBR 8633/1984 e o poder calorífico inferior (PCI) foi calculado através da Equação 5-1:

$$PCI = PCS - \left( \frac{600 \times 9H}{100} \right) \quad \text{Equação 5-1}$$

Em que:

**PCI** = Poder calorífico inferior em kcal/kg;

**PCS** = Poder calorífico superior em kcal/kg;

**H** = Teor em hidrogênio em %;

**600** = Calor de condensação da água a  $0^{\circ}\text{C}$ ;

**9** = Quantidade de água, em kg, que se forma ao oxidar um kg de H.

Os valores médios obtidos nas análises de caracterização energética para o eucalipto e o esterco foram comparados e permitiram a realização dos cálculos de potencial de substituição entre as biomassas, considerando a umidade de 30% para a madeira (umidade média da madeira em sua utilização) e de 15% de umidade para o esterco (condição após o processamento do esterco no equipamento vaporizador realizado na empresa EMG do Brasil).

Segundo Silva (2001) através da equação 5-2 tem-se o poder calorífico líquido para uma determinada umidade:

$$PCL_u = \left[ \frac{(PCI - 6U)}{(100 + U)} \right] \times 100 \quad \text{Equação 5-2}$$

**PCL<sub>u</sub>** = Poder calorífico líquido para uma determinada umidade em kcal/kg

**PCI** = Poder calorífico inferior em kcal/kg

**U** = teor de umidade da madeira em %



O balanço energético foi calculado através da energia potencial da madeira consumida em Kcal/dia ( $EpCm$ ), conforme a equação:

$$EpCm = QmC \times PCIm_{30\%} \times MEM_{30\%} \quad \text{Equação 5-3}$$

Em que:

$QmC$  = Quantidade de madeira consumida por dia em m<sup>3</sup>;

$PCIm_{30\%}$  = Poder calorífico inferior da madeira a 30% de umidade base seca em kcal/kg)

$MEM_{30\%}$  = Massa específica da madeira kg/m<sup>3</sup> a 30% U (REZENDE, *et al*, 1988).

Obteve-se a massa específica da madeira em base seca conforme a norma ABNT NBR 11941/2003, utilizando-se cunhas opostas retiradas de discos de 2,5 cm das amostras coletadas.

Calculou-se inicialmente a massa energética equivalente do esterco em base seca para então obter-se a massa do esterco à umidade de 15%, através das equações:

$$MEe_{bs} = \frac{EpCm}{PCle_{0\%}} \quad \text{Equação 5-4}$$

$$MEte_{u\%} = \frac{MEe_{bs}}{\left(\frac{TS\%}{100}\right)} \quad \text{Equação 5-5}$$

Em que:

$MEe_{bs}$  = Massa energética do esterco em base seca (kg/dia)

$EpCm$  = Energia potencial da madeira consumida em (Kcal/dia)

$PCle_{0\%}$  = Poder calorífico inferior do esterco em base seca (kcal/dia)

$TS\%$  = Teor de sólidos na umidade requerida.

$MEte_{u\%}$  = Massa energética do esterco à umidade de 15%.

As informações obtidas nas equações anteriores permitiram calcular a Relação de equivalência esterco x madeira ( $EqMxE$ ), dada pela equação:

$$EqMxE = \frac{mE}{mM} \quad \text{Equação 5-6}$$

Em que:

$mE$  = massa do esterco em kg;

$mM$  = massa da madeira em kg.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Umidade

Segundo Rodriguez *et al.* (1988) as características que mais interferem no poder calorífico da biomassa são o teor de cinzas e a umidade. As esterqueiras nas fazendas recebem todo o material residual acumulado no piso dos estábulos, incluindo também a água utilizada em processos de higienização e a água das chuvas. A TABELA 5-1 apresenta a diferença de umidade entre as duas biomassas avaliadas.

**TABELA 5-1 RESULTADO MÉDIO DAS ANÁLISES DE UMIDADE DO *Eucalyptus grandis* E DO ESTERCO.**

Propriedade	Eucalipto*	Esterco**
Umidade Base Úmida %	42,55	85,9
DP	3,55	4,91
CV %	8,35	5,72
Umidade Base Seca %	74,67	692,71
DP	9,91	276,80
CV %	13,27	39,96

\*=madeira seca ao ar durante 6 a 8 meses

\*\*=esterco seco, obtido nas condições das esterqueiras.

Os resultados de umidade da madeira diferem da média para umidade em base úmida que Santos *et al.* (2003) encontraram para o *E. grandis* (51%). Deve ser ressaltado que as amostras foram recolhidas no pátio da cooperativa, não sendo possível identificar o tempo secagem e posição da amostra no tronco, características que interferem no teor de umidade da madeira, conforme citado por Oliveira *et al.* (2005).

O valor obtido nesta análise indicou que o esterco das esterqueiras tem em média 14,1% de sólidos totais, equivalente à massa subtraída do valor de umidade (85,9%), diferente dos resultados de Konzen (1999) que apontou valores médios de 16,8% de matéria seca de esterco de esterqueiras, e mais próxima aos resultados de Pohlmann (2000) que teve como resultado o teor de 12,7% de sólidos totais para dejetos gerados por vacas leiteiras.

Comparativamente o esterco nas condições de coleta e secagem propostas para o experimento tem o dobro da umidade da madeira, necessitando de mudanças

no sistema de manejo dos resíduos nas fazendas ou da inserção de tecnologia para a redução de umidade, possibilitando o seu uso como fonte de energia.

### 5.3.2 Poder calorífico e Análise Química Imediata

Os valores obtidos para o poder calorífico e análise química imediata podem ser visualizados na TABELA 5-2.

**TABELA 5-2 MÉDIA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR - PCS, PODER CALORÍFICO INFERIOR - PCI, CARBONO FIXO - CF, MATERIAIS VOLÁTEIS - MV E CINZAS - CZ PARA O *Eucalyptus grandis* E ESTERCO, EM BASE SECA.**

<b>Propriedades energéticas</b>	<b>Eucalipto</b>	<b>Esterco</b>
Poder Calorífico Superior (Kcal/kg)	4530	3125
DP	84,51	902,55
CV %	1,87	28,88
Poder Calorífico Inferior (Kcal/kg)	4218	2844
DP	94,65	871,56
CV %	2,24	30,65
Materiais Voláteis (%)	79,77	59,85
DP	0,59	13,96
CV %	0,74	23,32
Carbono Fixo (%)	18,35	13,10
DP	0,56	2,93
CV %	3,04	22,34
Cinzas (%)	1,88	27,05
DP	0,16	16,78
CV %	8,65	62,05

As análises demonstram que a madeira utilizada na cooperativa é muito mais homogênea em suas características energéticas que o esterco, conforme pode ser observado na diferença entre os CV% do eucalipto e do esterco.

O esterco apresentou valores médios de PCS em 3125 kcal/kg, encontrando-se dentro dos padrões citados por Parsamehr (2012) que obteve valores de 3291 kcal/kg. Rodriguez *et al.* (1988) citam que o tipo de piso dos currais alteram o PCS do esterco podendo variar entre 1.362,13 kcal/kg a 3.405,08 kcal/kg.

O *E. grandis* como matéria energética é citado no Balanço Energético Nacional de 2013 (EPE, 2014) com média de 3.100 kcal/kg para a lenha de eucalipto, valor próximo ao obtido nesta pesquisa para o PCI do eucalipto a 30% de umidade equivalente a 3.106 kcal/kg. Os resultados de PCS e PCI do eucalipto em base seca da pesquisa foram 4.530 e 4.218 kcal/kg, respectivamente, encontrando-

se próximos aos resultados de Eloy (2015) com média de PCS 4.467,5 kcal/kg e Brand (2010) cujos valores de PCS variaram entre 4.462 kcal/kg na primavera e 4.927 kcal/kg no verão.

Quanto maior o teor de cinzas menor é o poder calorífico da biomassa uma vez que as mesmas não participam do processo de combustão (BRAND, 2010), podem acelerar o desgaste das grelhas e, em determinadas temperaturas, pode ocorrer fusão das cinzas, obstruindo o equipamento (RENDEIRO *et al.*, 2008). Entre outros motivos, a madeira tem preferência nos processos de combustão, pois apresentam menores teores de cinzas (1,88%), contrastando com o resultado do esterco (27,05%).

Quanto maior o carbono fixo menor a quantidade de materiais voláteis e mais lenta a combustão, necessitando de maior tempo de residência na fornalha para a queima total (BRAND, 2010).

A madeira apresentou maior teor de MV e CF, sendo 79,77% e 18,35%, respectivamente, resultados próximos aos valores encontrados por Brand (2010) para MV do eucalipto que variaram entre 78 e 85%, e o CF entre 15 e 25%. O período de estocagem influencia nos valores de CF e MV, com o aumento do primeiro e redução do segundo à medida que aumenta o tempo de estocagem da madeira.

No estudo de Backes (2011) os teores médios de MV para o esterco foram de 79%, e para Foged (2012) igual a 75%, diferente dos resultados do presente estudo (MV 59,85% e CF 13,10%) e de Chirag *et al.* (2011) (MV 45,6%, CF 20% e CZ 27%), que concluíram que as variações na caracterização do esterco dependem do manejo nas fazendas.

Variações nos teores de cinzas dependem, como outros fatores, do tipo de biomassa, procedência, parte do vegetal, idade, espaçamento e estações do ano (TRUGILHO & SILVA, 2001; BRAND, 2010). ELOY (2015) cita que uma das características comum entre as espécies de *Eucalyptus* são os baixos teores de cinza da madeira com valores médios de 0,62%.

### 5.3.3 Composição Química Elementar

Os resultados obtidos na análise elementar das amostras para C, H, O, N e S são apresentados na TABELA 5-3.

**TABELA 5-3 MÉDIA DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE CARBONO, HIDROGÊNIO, OXIGÊNIO, NITROGÊNIO E ENXOFRE PARA O *Eucalyptus grandis* E O ESTERCO EM BASE SECA.**

Composição química elementar		Eucalipto	Esterco
Carbono (%)		45,32	25,38
	DP	0,64	8,54
	CV %	0,01	0,34
Hidrogênio (%)		5,75	3,49
	DP	0,19	1,09
	CV %	0,03	0,31
Oxigênio (%)		48,22	68,43
	DP	0,84	10,46
	CV %	0,02	0,15
Nitrogênio (%)		0,70	2,30
	DP	0,42	0,81
	CV %	0,60	0,35
Enxofre (%)		0,02	0,40
	DP	0,02	0,11
	CV %	1,07	0,28

Protasio *et al.* (2012) discorrem que as biomassas para energia devem conter menores quantidades de oxigênio e teores mais elevados de carbono e hidrogênio, que apresentam correlação direta com o poder calorífico. Ressaltam que baixos valores de hidrogênio na composição da madeira resultam em uma alta relação C/H, que é indesejável quando se visa a produção de energia, e que altas relações C/N implicam em menores quantidades de nitrogênio a ser liberada na formação de óxidos de nitrogênio.

Brito & Barrichelo (1978) afirmaram que na análise elementar das espécies de *Eucalyptus* os padrões são bastante uniformes para as espécies florestais, demonstrando poucas diferenças entre variedades e sítios. Os resultados obtidos na análise elementar do *E. grandis* nesta pesquisa foram de, 45,32%, 5,75%, 48,22%, 0,7% e 0,02%, respectivamente para o C, H, O, N e S. Os resultados são próximos aos de REIS *et al.* (2012) que obtiveram resultados de C 46,21%-47,6%, H 5,97%-6,24%, O 46,59%-7,72%, N 0,1%-0,12% e 0% de enxofre.

REIS *et al.* (2012) observaram efeito significativo entre diferentes locais de produção florestal no teor de hidrogênio e da relação C/H do *Eucalyptus urophylla*, obtiveram os teores médios de C 46,76%, H 6,14%, O 47%, N 0,11% e S 0%, resultando na relação de C/H em 7,62, de C/N de 425,1. As relações obtidas neste trabalho foram de C/H de 7,88 e C/N de 64,74.

Neste trabalho, o esterco em relação à madeira obteve menores teores de C e H (25,38% e 3,49%), e maiores teores de O, N e S (68,43%, 2,30% e 0,40%, respectivamente). A relação C/N do esterco foi de 11,03, portanto mais baixo que a

mesma relação para a madeira e a relação C/H de 7,27, valor próximo ao resultado da madeira.

#### 5.3.4 Potencial energético de substituição da madeira pelo esterco

O consumo diário de madeira para a caldeira da cooperativa é de 8m<sup>3</sup>, com o PCI médio em umidade de 30% de 3106 kcal/kg e Db 739 kg/m<sup>3</sup>, a energia potencial da madeira consumida na caldeira diariamente foi calculada em 18.362.672 kcal em 5.912 kg de massa.

Dessa forma, considerando o PCI do esterco a 15% de umidade de 2395 kcal/kg, a quantidade de esterco equivalente para substituir os 8 m<sup>3</sup> de madeira é 7.596 kg. Esses valores demonstram que a relação de equivalência entre o esterco e a madeira é de aproximadamente 1,3:1, ou seja, para cada kg de madeira a 30% de umidade são necessários 1,3 kg de esterco a 15%U.

#### 5.4 CONCLUSÃO

1. A madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta propriedades energéticas mais homogêneas e em maiores valores que as apresentadas pelo esterco, sendo mais eficiente na produção de energia em virtude de sua composição.
2. Os resultados apontam que a limitação ao uso do esterco para os processos de combustão é o alto teor de cinzas e de umidade, necessitando de pré-secagem e de alterações no manejo do esterco nas fazendas para reduzir a variabilidade das propriedades energéticas.
3. A substituição da madeira pelo esterco a 15% de umidade como fonte de energia em caldeiras é possível na proporção de 1,3:1 (esterco:madeira).

## AGRADECIMENTOS

À CAPAL – Cooperativa Agroindustrial de Arapoti pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa. Ao Laboratório de Energia da Biomassa da UFPR e à empresa EMG do Brasil pela realização das análises.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7993: Determinação da umidade por secagem em estufa reduzida a serragem.** Rio de Janeiro, 183.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: carvão vegetal: Determinação do poder calorífico superior.** Rio de Janeiro, 1984.

BACKES, G. M. **Avaliação do processo de digestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta oriunda da produção de biodiesel.** 108f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado – RS, 2011

BELL, R. A. O. **Demanda de lenha para secagem de grãos no Estado do Paraná.** 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) – Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba, 2013.

BRAND, Martha Andreia. **Energia de biomassa florestal.** Editora Interciência, Rio de Janeiro – RJ, 2010.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF** n.16, p.63-70, 1978. Disponível em: <<http://www.ipef.br>> Acesso em: 25/08/2013.

CHIRAG, K.M.; VIJAY, K.; RAGHAVAN, V. e RANGWALA, A.S. Smoldering Combustion of Biomass Particles. **Journal of Applied Sciences**, 11: p. 1862-1866, 2011. Disponível em: <<http://scialert.net/fulltext/?doi=jas.2011.1862.1866&org=11>> Acesso em 09/11/2014.

ELOY, E. **Produção e qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do Rio Grande do Sul, Brasil.** 157f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

EPE Empresa de Pesquisas Energéticas. **Balanco Energético Nacional 2014**: Ano base 2013. Ministério de Minas e Energia, 2014.

FAO - Food and Agricultural Organization for United Nations. **Mild and dairy products in human nutrition**. Technical Editors: MUEHLHOFF, E.; BENNET, A.; McMAHON, D. Roma, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 29/09/2014.

FOGED, H. L. **Livestock Manure to Energy – Status, technologies and innovation in Denmark**. Agro Business Park A/S, December, 2012. Dinamarca. Disponível em: <[http://www.inbiom.dk/download/viden\\_biomasse/manure\\_to\\_energy\\_uk\\_web2.pdf](http://www.inbiom.dk/download/viden_biomasse/manure_to_energy_uk_web2.pdf)> Acesso em 23/09/2014.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização de esterco de bovinos**. EMBRAPA. Comunicado Técnico nº14, dezembro/1999. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, Sete Lagoas – MG. Dezembro, 1999.

MLEKU, D. The materiality of dung: the manipulation of dung in Neolithic Mediterranean caves. **Documenta Praehistorica XXXVI**, UDK p. 633\634-636, (2009). Disponível em: <<http://arheologija.ff.uni-lj.si/mlekuz/mlekuz36.pdf>> Acesso em: 3/9/2013.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.* Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.115-127, 2005

PARSAMEHR, M. Heat generation by cow dung incineration in the north of Iran. 57f. Thesis (Master Science in Environmental Engineering Departmen). Mid Seden University, 2012. Disponível em: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:656891/FULLTEXT01.pdf>> Acesso em: 04/10/2014.

POHLMANN, M. **Levantamento de técnicas de manejo de resíduos da bovinocultura leiteira no Estado de São Paulo**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2000.

PROTASIO, T.P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G.H.D.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; GUIMARÃES JR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo – PR, v.31, n.66, p.113-122, abr/jun, 2012.

REIS, A.A.; PROTÁSSIO, T.P.; MELO, I.C.N.A.; TRUGILHO, P.F.; CARNEIRO, A.C. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v.32. n.71, p.277-290, jul/set, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb>> Acesso em: 23/8/2013.

RENDEIRO, G. *et al.* **Combustão e gaseificação de biomassa sólida**. Soluções energéticas para a Amazônia. Ministério de Minas e Energia. 1ª Edição, Brasília – DF, 2008.

REZENDE, M.A. *et al.* Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **IPEF**, n.39, p.33-40, ago.1988.



RODRIGUEZ, P.G.; ANNAMALAI, K.; SWEETEN, J.M.. **The effect of drying on the heating value of biomass fuels.** Transactions of the ASAE 41(4):1083-1087, 1988. Disponível em: <<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=17237&t=2&redir=&redirType=>>> Acesso em: 21/10/2014.

SANTOS, G.R.V.; JANKOWSKY, I.P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.214-220, 2003.

SERIO, M.A. *et al.* Pyrolysis processing of animal manure to produce fuel gases. Advanced fuel research, inc. **Fuel Chemistry Division Preprints** 2002, 47(2), 588; USA. Disponível em: <[https://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/47\\_2\\_Boston\\_10-02\\_0316.pdf](https://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/47_2_Boston_10-02_0316.pdf)> Acesso em: 29/3/2014.

SILVA, Dimas Agostinho. **Avaliação da eficiência energética em uma indústria de painéis compensados.** Tese (Doutorado em engenharia florestal) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

TRUGILHO, P.F. e SILVA, D.A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea coubaril* L.). **Scientia Agraria**, v.2, n.1 (2001).

VAN HORN, H.H. *et al.* Components of Dairy Manure Management Systems. **Journal of Dairy Science**. Vol 77, nº 7, pg 2008-2030, 1994. Disponível em: [http://biogas.ifas.ufl.edu/Publs/JDairySci-77\(7\)2008-30\(1994\).pdf](http://biogas.ifas.ufl.edu/Publs/JDairySci-77(7)2008-30(1994).pdf) Acesso em 02/04/2013.

## 6 CAPÍTULO III – DISPONIBILIDADE POTENCIAL DE ESTERCO DA BOVINOCULTURA LEITEIRA PARA ENERGIA EM COOPERATIVA

### RESUMO

A necessária inserção tecnológica para aumentar a produtividade do rebanho leiteiro tem como consequência a alta produção de esterco e outros resíduos, normalmente utilizados como fertilizante para lavouras e pastagens. Porém, pesquisas têm demonstrado que em determinadas condições a aplicação do esterco pode indisponibilizar nutrientes para as plantas, impermeabilizar o solo ou contaminar cursos d'água. Esta pesquisa teve por objetivo verificar a disponibilidade potencial do esterco para uso energético em cooperativa, cujos resultados apontaram que mesmo considerando a proporção relativa utilizada como fertilizante, a cooperativa poderia se apropriar do excedente de esterco como biomassa para energia.

**Palavras-chave:** biomassa energética, esterco bovino para energia.

### POTENTIAL AVAILABILITY FOR ENERGY FROM DAIRY CATTLE MANURE

### ABSTRACT

To increase productivity of dairy cattle, technological integration is needed and as result there is a high production of manure and other waste, that is commonly used as fertilizer for crops and pastures. However, research has shown that under certain conditions the application of manure can unavailable nutrients for plants, soil becomes waterproof or waterways can be contaminated. This research aimed to verify the potential availability of manure for energy used in cooperative, whose results showed that even considering the relative proportion used as a fertilizer, the cooperative could take ownership of the manure surplus as biomass for energy.

**Keywords:** biomass energy, manure for energy.

## 6.1 INTRODUÇÃO

O rebanho bovino nacional foi estimado em 211,76 milhões de cabeças em 2013. A maior parte do efetivo rebanho bovino é composta por gado de corte e 10,8% corresponde a vacas em regime de ordenha com a produção estimada em 2015 de 36 bilhões de litros de leite, equivalente a um Valor Bruto de Produção de R\$ 35 bilhões (CNA, 2015).

A redução da mão de obra rural, com a fuga de jovens do campo para os centros urbanos em busca de melhores condições de vida, promoveu a necessidade de investimentos em tecnologias para o setor primário da economia a fim de melhorar, entre outros, a eficiência da produção agropecuária e de energia para o setor produtivo (BUAINAIN *et al.*, 2014).

Na cadeia produtiva do leite a inserção tecnológica ocorre na eleição do sistema de manejo, no melhoramento animal e nas condições das instalações (estábulo, divisórias, cochos e sala de ordenha) (RODRIGUES F<sup>o</sup> & AZEVEDO, 2005). Em fazendas de alta produção leiteira é comum o manejo dos animais em sistemas intensivos com instalações em modelo “*free stall*”, que busca aliar o conforto animal com a produtividade, através de instalações que permitem o livre acesso ao cocho e movimentação dos animais e áreas de repouso individual em “camas” (areia, serragem ou palhadas) (CAMPOS, 2014; BROOM, 1991).

Como consequência dos sistemas intensivos tem-se a alta concentração de resíduos que, no caso da bovinocultura leiteira, corresponde ao esterco, urina, restos das camas e alimentação, e resíduos da higienização e sanitização das instalações (FERREIRA *et al.*, 2012), que chegam a somar mais de 88,4 kg por animal por dia (POHLMANN, 2000).

O esterco tem seu maior uso como fertilizante orgânico, necessitando de criteriosas recomendações agronômicas para ajuste de doses, a fim de minimizar os efeitos adversos da aplicação (SILVA *et al.*, 2008; WHALEN *et al.*, 2000). Por outro lado, pequenas comunidades tradicionais coletam o esterco quase seco nos campos para uso como combustível (MLEKU, 2009), o que é impossível em confinamentos onde o esterco acumulado nas esterqueiras têm em média 83% de umidade

(KONZEN, 1999), Em muitos casos, nem todo esterco produzido pode ser utilizado como fertilizante e pode causar impactos ambientais severos (SERIO *et al.*, 2002).

Na busca por soluções sustentáveis para o resíduo da bovinocultura leiteira, o presente trabalho teve por objetivo identificar a disponibilidade do esterco bovino proveniente das granjas leiteiras atendidas pela CAPAL Agroindustrial de Arapoti – PR para o uso como fonte de energia e identificar o potencial energético do mesmo, considerando também o uso do esterco como adubo.

## 6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O alto custo da pecuária leiteira fez crescer o número de cooperativas de produtores, na tentativa de melhorar o rendimento da atividade e a redução do risco nos processos de comercialização (compra de insumos e venda de produtos), o que tem estimulado a continuidade da produção leiteira no Brasil (NORONHA, 1981). Dessa forma, foi eleita uma cooperativa de produtores de leite que permitisse a coleta de dados e disponibilizasse um técnico para o acompanhamento às fazendas.

A pesquisa foi realizada na CAPAL Cooperativa Agroindustrial localizada em Arapoti-PR, fundada em setembro de 1960 por 21 sócios de origem holandesa. Hoje somam 1902 associados e contam com cinco unidades de recebimento e armazenagem de grãos, fábrica de ração, lojas agropecuárias e posto de abastecimento de combustíveis.

Os produtores de leite que entregam o produto pela CAPAL em Arapoti somam 70. Do total, 42 produtores de leite destacam-se pela padronização do rebanho, condições de manejo, alta produção de leite e situadas em até 15 km da sede da cooperativa. A empresa não processa o leite e o mesmo é comercializado com as empresas Batavo, VIGOR e FRISIA.

Para estimar o potencial energético do esterco inicialmente foram realizadas entrevistas estruturadas junto à administração e gerência da empresa para a obtenção de dados referente aos produtores de leite associados à cooperativa, com posterior visita a produtores para entrevistas.

Os dados de caracterização energética do esterco para umidade e poder calorífico inferior (PCI) foram obtidos por Oshiro (2015) e utilizados para este trabalho, em seus valores médios (TABELA 6-1).

**TABELA 6-1 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (%), PODER CALORÍFICO MÉDIO DAS AMOSTRAS DE ESTERCO EM BASE SECA (kcal/kg) E MASSA ESPECÍFICA EM BASE ÚMIDA**

Propriedades	Esterco
Umidade (%)	86%
PCS (kcal/kg)	3125 kcal/kg
PCI (kcal/kg)	2844 kcal/kg
MEe86%U (kg/m <sup>3</sup> )	933 kg/m <sup>3</sup>

\*DP = Desvio padrão da média; CV = Coeficiente de variação  
Fonte: Oshiro (2015)

A produção diária estimada de esterco bovino de todo o rebanho leiteiro em lactação dos cooperados foi calculada conforme sugerido por Santos e Nogueira (2012):

$$mTest = NA \times mEan \quad \text{Equação 6-1}$$

Em que:

$mTest$  = Massa total de esterco produzido nas granjas de cooperados da CAPAL em kg/dia;

$NA$  = número de vacas em lactação;

$mEan$  = Massa de esterco produzido por animal em kg/dia.

Para quantificar o esterco em base seca utilizou-se a equação:

$$mTestBS = \frac{[mTest] \times \%ST}{100\%} \quad \text{Equação 6-2}$$

Em que:

$mTestBS$  = Produção total de esterco em base seca (t/dia)

$mTest$  = massa total de esterco produzido nas granjas associadas da CAPAL (t/dia)

$\%ST$  = % de sólidos totais do esterco

As variações de massa em função da umidade podem ser calculadas por:

$$MEst_{u\%} = \frac{mTestBS}{\frac{ST\%}{100}} \quad \text{Equação 6-3}$$

Para o cálculo do esterco realmente disponível para energia considerou-se o volume de produção anual de esterco e as recomendações de adubação fornecidas pela equipe técnica da cooperativa.

Segundo informações da equipe agrônômica da CAPAL as fazendas leiteiras têm a média de 100 hectares e a recomendação máxima de adubação com esterco curtido para a região é de 60m<sup>3</sup>/ha/ano, variando em função de especificidades de solo e da cultura a ser instalada. Afirmam que nas fazendas são utilizados até 60% do esterco produzido em áreas próprias e o excedente é oferecido a outros produtores agrícolas ou florestais. Considerou-se que 40% do esterco produzido nas fazendas cooperadas são disponíveis para uso energético.

O volume do esterco foi calculado através da equação:

$$V = \frac{M}{ME} \quad \text{Equação 6-4}$$

Em que:

**V** = Volume (m<sup>3</sup>)

**M** = massa (kg)

**ME** = massa específica do esterco a 86% de umidade (kg/m<sup>3</sup>)

No manejo de vacas leiteiras em sistema “free stall” as vacas em lactação permanecem em estábulos confinados, separadas das vacas “secas” (que não estão em lactação). Dependendo do manejo da propriedade as vacas secas podem permanecer em estábulos separados ou em pasto. A contabilização do volume de esterco desta pesquisa considerou apenas as vacas em lactação para estimativa do total de esterco produzido.

O potencial energético foi calculado através da Equação:

$$PEest_{u\%} = (mTest_{bs} \times 40\%) \times PCI_{u\%} \quad \text{Equação 6-5}$$

Em que:

**PEest<sub>u%</sub>** = Potencial energético do esterco disponível na umidade requerida (kcal/dia)

**mTest<sub>bs</sub>** = Massa total de esterco em base seca (kg/dia)

**PCI<sub>u%</sub>** = PCI do esterco na mesma umidade (kcal/kg)

Calcularam-se as variações no potencial energético em função de alterações de umidade com base na Equação:

$$PCI_{U\%} = \left[ \frac{PCI_{BS} - (6 \times UBS)}{(100 + UBS)} \right] \times 100 \quad \text{Equação 6-6}$$

Em que:

**PCI<sub>U%</sub>** = Variação do PCI em função de alteração da umidade (kcal/kg)

**PCI<sub>BS</sub>** = Valor do PCI em base seca (kcal/kg)

UBS = Umidade em base seca

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de esterco tem fluxo constante e a variação na produção depende do número de animais em lactação em um determinado período.

Em entrevista ao corpo técnico da cooperativa foi informado que o número médio de animais em lactação dos cooperados da CAPAL é de 6 mil vacas (em 2013) com a produção média diária de 56,25 kg de esterco por animal, podendo chegar a 70 kg/animal/dia.

Os valores relatados pela cooperativa são compatíveis com dados citados em literatura, conforme Pohlmann (2000) que obteve o cálculo de 13,7m<sup>3</sup> esterco/vaca/ano, Van Horn et. al (1994) observaram a produção de matéria seca de excretas diárias de vacas de 88,4 kg/dia na somatória de fezes e urina, e Lucas & Silva (2005) estimaram em 30 kg esterco/animal/dia em regime estabulado. A volumetria dos dejetos bovinos, portanto, depende das variáveis de manejo, devendo ser mensurados e dimensionados para cada criação.

Utilizando-se a média da produção diária citada pela cooperativa de 56,25 kg/animal/dia, a densidade de 933 kg/m<sup>3</sup> para o esterco a 86% de umidade e o número de animais em lactação (6000), tem-se que diariamente são produzidos aproximadamente 362 m<sup>3</sup> de esterco.

Com base nesses valores o volume produzido anualmente por cada animal estabulado equivale a aproximadamente 22 m<sup>3</sup>, perfazendo um total de 132 mil m<sup>3</sup>/ano o total de esterco produzido nas fazendas.

Os dados demonstram que, segundo as recomendações da CAPAL, o volume de esterco produzido poderia ser aplicado no máximo em 2.200 hectares por ano. Porém, Whalen *et al.* (2000) afirmam que modificações no pH de solos, com adição de esterco bovino, são devidas não só ao tamponamento por carbonatos e bicarbonatos, mas também a outros compostos, como os ácidos orgânicos com grupos carboxil e hidroxil fenólicos, os quais têm importante papel no tamponamento da acidez do solo e na variação do pH de solos ácidos manejados com esterco.

A TABELA 6-2 demonstra o potencial de biomassa produzida a partir do esterco nas fazendas leiteiras de cooperados da CAPAL, considerando 14% de sólidos totais e 40% de disponibilidade de esterco.

**TABELA 6-2 – VOLUME ESTIMADO DE BIOMASSA ANIMAL NAS FAZENDAS DE COOPERADOS DA CAPAL.**

Referência	Resultados	Disponibilidade 40%	Potencial energético
Massa de esterco produzido	$mTest_{6000} = 337,5 \text{ ton/dia}^*$	135 ton/dia	
Massa de esterco em base seca	$mTestBS_{6000} = 47,25 \text{ ton/dia}$	19 ton/dia	54.036.000 kcal

FONTE: Dados fornecidos pela CAPAL (2014); \*Produção total estimada do rebanho leiteiro de associados da CAPAL.

Os resultados demonstram que o potencial de esterco produzido, considerando todo o rebanho em lactação dos cooperados, equivale a 337,5 toneladas por dia à umidade de 86%, ou 47,25 toneladas de esterco seco por dia.

Utilizando 60% do esterco curtido para adubação ainda teria uma sobra de 135 toneladas por dia, equivalente a 19 toneladas de esterco seco por dia para outros usos.

O potencial energético em base seca do esterco disponível é de 54.036.000 kcal por dia. Porém, segundo Trugilho e Silva (2001) o poder calorífico é maior quanto menor teor de umidade. Dessa forma, acréscimos na umidade do esterco promove alteração no potencial energético, conforme apresentado na TABELA 6-3.

**TABELA 6-3 – POTENCIAL ENERGÉTICO DO ESTERCO BOVINO DISPONÍVEL EM FUNÇÃO DA UMIDADE BS**

Umidade (%)	PCI (kcal/kg)	Potencial energético (kcal/dia)
10	2531	47.835.900
25	2155	40.729.500
50	1696	32.054.400

A biomassa, em umidade maior que 50%, não apresenta viabilidade para o processo de combustão (QUIRINO *et al*, 2005). A alta umidade do esterco “verde”, coletado das esterqueiras, determina que o aproveitamento energético do mesmo fica condicionado à condições de manejo que permitam a redução da umidade de forma natural ou forçada através da inserção de tecnologia.



## 6.4 CONCLUSÃO

O rebanho leiteiro pertencente ao grupo de cooperados da CAPAL somam 6.000 vacas em lactação que geram aproximadamente 337,5 toneladas de esterco por dia. Aproximadamente, 74 mil toneladas de esterco são usados anualmente para a reposição de nutrientes do solo das fazendas.

O excedente de resíduos é de 49.275 toneladas/ano de esterco na umidade das esterqueiras, ou seja, quase 7 mil toneladas de esterco seco poderiam ser utilizados como fonte de energia, equivalente a um potencial energético de 19.723.000 Mcal/ano em base seca. Esse potencial se reduz à medida que aumenta o teor de umidade do esterco, variando, portanto, de acordo com o processo utilizado para a secagem.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14984 – Determinação da densidade aparente de cavacos**. Rio de Janeiro, 2003.

BROOM, D.M. Animal welfare: concepts and measurement. **Journal of animal Science**, Savoy, v.69, n.10, p. 4167-4175, 1991.

BUAINAIN, A.M.; ALVES, E.A.; SILVEIRA, J.M.; NAVARRO, Z. **O mundo rural no Brasil do século 21 – A formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Editores técnicos.Embrapa. Brasília – DF, 2014.

CAMPOS, Aloísio Torres. Sistemas de baias livres. **Agência de Informação da Embrapa**, Agronegócio do Leite. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br> Acesso em 01/10/2014.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Valor bruto da produção pecuária brasileira atingirá R\$ 195 bilhões em 2015. Publicado em Notícias CNA – **Canal do Produtor** em 14/10/2015. Disponível em: <http://www.canaldoprodutor.com.br> Acesso em: 05/11/2015.

FERREIRA, A.M., *et al.* **Gado de leite: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Editores técnicos: Oriel Fajardo de Campos, João Eustáquio Cabral de Miranda. – 3ª ed. Revisada e ampliada. Brasília, DF. Embrapa, 2012.

KONZEN, E. A. Manejo e utilização de esterco de bovinos. EMBRAPA. **Comunicado Técnico** nº14, dezembro/1999. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, Sete Lagoas – MG. Dezembro, 1999.

LUCAS, J.J.; SILVA, F.M. **Biogás, produção e utilização**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2005, 8p.

MLEKU, Dimitrij. The materiality of dung: the manipulation of dung in Neolithic Mediterranean caves. UDK 903.28,14(292.46)"633\634">636. **Documenta Praehistorica** XXXVI (2009). Disponível em: < <http://goo.gl/wGeGS7>> Acesso em: 3/9/2013.

NORONHA, José. F. Projetos agropecuários – **Administração financeira, orçamentação e avaliação econômica**. Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP, 1981.

POHLMANN, Marcelo. **Levantamento de técnicas de manejo de resíduos da bovinocultura leiteira no Estado de São Paulo**. Dissertação. Mestrado em Engenharia Agrícola do PPG Universidade Estadual de Campinas.. Campinas, SP, 2000.

QUIRINO, W.F., *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira** nº 89, p.100-106, 2005. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/cadastro.php>> Acesso em 18/05/2012.

RODRIGUES Fº, J.A.; AZEVEDO, G.P.C. **Criação de gado leiteiro na zona bragantina**. Embrapa Amazônia Oriental, Sistemas de Produção. Dezembro, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>> Acesso em: 01/10/2014

SANTOS, I. A.; NOGUEIRA, L. A. H.. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. Revista **Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.4, n.1, p.41-49, abr.2012.

SERIO, M.A; BASSILAKIS, R.; KROO, E.; WÓJTOWICZ, M.A. Pyrolysis processing of animal manure to produce fuel gases. Advanced fuel research, inc. **Fuel Chemistry Division Preprints** 2002, 47(2), 588; USA. On line. Disponível em: <https://goo.gl/3ChkRZ> Acesso em: 29/3/2014

SILVA, J.C.P.M.; MOTTA, A.C.V.; PAULETTI, V.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A.S.; VELOSO, C.M.; COSTA E SILVA, L.F. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um latossolo bruno. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2563-2572, 2008.

TRUGILHO, P.F. e SILVA, D.A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea coubaril* L.). **Scientia Agraria**, v.2, n.1 (2001).

VAN HORN, H.H. *et al.* Components of Dairy Manure Management Systems. **Journal of Dairy Science**. Vol 77, nº 7, pg 2008-2030, 1994. Disponível em: <<http://goo.gl/c4ZRV0>> Acesso em 02/04/2013.

WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W. & CAREFOOT, J.P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:962-966, 2000.

## 7 CAPÍTULO IV – CUSTO DE ARMAZENAGEM DA MADEIRA PARA ENERGIA

### RESUMO

Dependendo do volume total de madeira armazenada, o estoque pode ocupar uma grande área representando um custo de oportunidade importante na análise de eficiência econômica das empresas. Esta pesquisa visa obter o custo total de armazenagem da madeira para energia, através do estudo de caso da CAPAL – Cooperativa Agroindustrial de Arapoti – PR, que utiliza a madeira para energia da caldeira da fábrica de ração e secadores de grãos. O valor inicial de aquisição de R\$ 80,00/m<sup>3</sup> de madeira verde posto no pátio chegou a R\$ 122,86/m<sup>3</sup> nas condições desse trabalho que adicionou sobre o valor de aquisição todos os custos variáveis de manutenção de estoque e os custos fixos, compostos por custo de capital, custos administrativos, depreciação, seguro e incluiu no cálculo a área ocupada pelo estoque. Os custos fixos somaram 10,2% e os custos variáveis 89,8%.

**Palavras chave:** Custo de estoque, custo de oportunidade, custo de biomassa.

### STORAGE COST OF WOOD FOR ENERGY

### ABSTRACT

Depending on the total volume of stored wood, the stock can occupy a large area representing a significant opportunity cost in economic efficiency analysis for companies. This research aims to get the total cost of wood stored for energy, through the case study of CAPAL – Cooperativa Agroindustrial de Arapoti - PR, which uses the wood as energy source for feed mill's boiler and for cereals dryers. The initial purchase price of R \$ 80.00 / m<sup>3</sup> for green wood delivered in the courtyard reached R \$ 122.86 / m<sup>3</sup> in the conditions of this work that added on the acquisition value all variable costs and fixed costs. Fixed costs were: the capital cost, administrative costs, depreciation, insurance and the cost of the area occupied by the stock was included in the calculation. Fixed costs amounted 10.2% and variable costs 89.8%.

**Keywords:** Costs of inventory, opportunity cost, biomass cost.

## 7.1 INTRODUÇÃO

A busca por melhores relações econômicas nos processos industriais e no uso de fontes energéticas se tornaram prioritárias, principalmente para a eficiência das empresas do agronegócio. A instabilidade do ambiente econômico atual tem reflexo direto nos sistemas administrativos e gerenciais das organizações levando o foco destas sobre os custos de produção, em especial nos processos de gerenciamento dos estoques por recaírem sobre estes os custos inerentes dos bens físicos que são mantidos de forma improdutiva por certo período de tempo (LIMA, 2006).

Cunha (2007) afirma que a análise de custos das empresas é fundamental, servindo como ferramenta no planejamento (identificação e opção de alternativas para maximização de lucros), controle (estoque, vendas, lucros) e informações necessárias para os processos de gestão, facilitando o posicionamento da empresa quanto a decisões estratégicas de investimentos, produção e promoções.

Lima (2006) e Bronoski (2007) destacaram a importância dos custos logísticos por serem determinantes para a redução do custo total, principalmente em função do valor imobilizado que o estoque representa na conta do ativo. Salientam que muitas vezes esses custos não são contabilizados separadamente, estando internalizado em outros processos, assim, o impacto que provocam na lucratividade das empresas não é sentido diretamente.

O custo total de armazenagem pode representar de 10 a 40% das despesas logísticas (POZO, 2002). No Brasil, o custo de estoque chega a equivaler a 3,9% do Produto Interno Bruto (LIMA, 2006). Moura (1998) diz que a armazenagem busca preservar a integridade do produto, incluindo todas as atividades inerentes ao processo, distinguindo-se da estocagem por ser esta parte integrante da armazenagem. Assim, havendo estoque é necessário que o mesmo seja armazenado.

Independente das divergências conceituais, as empresas têm buscado administrar melhor o espaço e o tempo, reduzindo os custos de armazenagem e de movimentação de materiais (RODRIGUES, 2008). Nesse sentido, Lopes *et al* (2008) descrevem que os impedimentos da utilização da lenha como combustível residem

no espaço necessário para o armazenamento e na utilização de mão de obra para a utilização e controle de queima.

Pozo (2002), Ballou (2006) e Silva Reis & Constante (2011) classificam os custos de estoque em custos de aquisição do estoque, custo de manutenção e custos atribuídos à falta de estoques, assim definidos:

a) Custo de pedido: são todos os custos, fixos e variáveis, referentes ao processo de emissão de um pedido. Engloba os custos administrativos (custo fixo) e todos os outros custos e recursos necessários para fazer o pedido e enviar aos fornecedores (custos variáveis), estando diretamente ligado ao volume das requisições ou pedidos que ocorrem no período.

b) Custo de manutenção dos estoques: são as despesas de armazenamento, normalmente relacionados a altos volumes, controles excessivos, ocupação de grandes espaços físicos, sistemas de armazenamento, processos de movimentação, recursos humanos envolvidos diretamente no processo, equipamentos e sistemas de informação específicos. Acrescentam-se ainda os custos relativos aos impostos, seguros e obsolescências. Este custo, de manutenção dos estoques, gira aproximadamente em 25% do valor médio de seus produtos.

c) Custo por falta de estoque: quando não houver o cumprimento do prazo de entrega de um pedido colocado, pode incidir multa ou cancelamento do pedido, o que representa um custo elevado e de difícil medição relacionado com a imagem, custos, confiabilidade e concorrência.

Os custos de armazenagem da madeira como insumo energético não têm sido contemplados, individualmente, nas análises econômicas das empresas, seja na produção ou na indústria. De certa forma, na cadeia produtiva da madeira para energia há uma preocupação corrente em torno dos custos de colheita e transporte florestal visto serem os mais representativos (50 a 70% do custo total) (KRAUSE JR *et al.*, 2014; MACHADO & MALINOVSKI, 1988), mas são poucas as informações sobre os custos de armazenagem, conforme foi observado por Bronoski (2007).

Afonso Jr *et al.*, (2006) considerou como custo de produção da lenha de eucalipto os custos de implantação, manutenção e exploração, não particularizando a distribuição desses custos. Outros artigos, como Berger & Garlipp (1980) referiram-se ao custo de estoques baseado em estoque de segurança, mas não

consideraram o custo de estocagem e armazenamento da madeira no pátio da usina.

Um ponto pouco considerado de análises econômicas se refere ao custo do tempo de secagem da madeira, independente de sua finalidade. Uma árvore pode conter de 35 a 200% de umidade em base seca no corte e embora inicie a perda da umidade logo após a derrubada é estocada em períodos que varia entre 60 a mais de 200 dias, dependendo da temperatura do ambiente, umidade relativa e circulação do ar, características intrínsecas da madeira (espécie, espessura, cerne, orientação de corte), presença ou não da casca, local de secagem e umidade final desejada (MARTINS, 1988; BARROS, 2006; REZENDE, 2009).

Uma aproximação do exposto foi observada em pesquisa de Santos & Monteiro (1997) na produção florestal. Concluíram que à medida que aumenta o tempo de permanência da madeira em secagem natural no campo cresce o custo do estoque em função de variáveis como: comprimento da tora, custo total de produção e colheita florestal (variações regionais), taxa de juros, teor de umidade da madeira e condições climáticas.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o custo de armazenagem da madeira para energia e o impacto econômico que representa sobre o custo de compra.

## 7.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na CAPAL Cooperativa Agroindustrial localizada em Arapoti-PR. O município situa-se na mesorregião Centro Oriental Paranaense, na microrregião de Jaguariaíva.

A região é caracterizada por figurar a mais completa cadeia produtiva florestal existente no país envolvendo: indústrias de papel e celulose; fábrica de MDF; indústrias de molduras, painéis e componentes de portas de pinus; fábricas de compensados; fábrica de pallets; indústria de móveis para exportação, além de pequenas serrarias, gerando receitas superiores a R\$ 1,4 bilhões neste setor e uma alta demanda de produtos florestais.

A cooperativa utiliza a madeira como fonte de energia para a caldeira da fábrica de ração animal e para os secadores de grãos. Os resíduos dos secadores (casca de soja e cinzas) são utilizados para reposição mineral nas áreas de reflorestamento. A eleição desta cooperativa teve por objetivo a uniformização dos dados e a credibilidade das informações relevantes à pesquisa.

#### 7.2.1 Consumo de madeira da cooperativa

A CAPAL tem um consumo anual de biomassa florestal de 12.000 m<sup>3</sup> de madeira de eucalipto, entre o consumo da caldeira da fábrica de ração e dos secadores de grãos. A madeira de eucalipto é comprada de terceiros, sendo o maior fornecedor a empresa Valor Florestal de Jaguariaíva-PR.

A Valor florestal vende para a CAPAL madeira em forma de toretes de 1,2m e 0,2m DAP, sendo basicamente da espécie *Eucalyptus grandis*. A madeira verde entregue no pátio da CAPAL é empilhada em altura máxima de 3 m e deixada para pré-secagem durante 6 a 8 meses, não há dados sobre teores de umidade na recepção. Será considerada a média do tempo de estoque equivalente a 7 meses, conforme relatado.

Em entrevista, a gerência de operações da empresa informou que a movimentação de madeira no pátio para abastecimento da caldeira e secadores utiliza: um trator auto carregável equipado com grua (garra) e carreta, mão de obra de um tratorista e dois ajudantes. Os funcionários de pátio trabalham em horário comercial.

#### 7.2.2 Definição da variáveis de custo

Os custos da madeira para energia foram calculados, subdivididos em custo total de manter o estoque (envolve o custo de aquisição e o custo de estoque) e os custos administrativos, conforme apresentado na TABELA 7-1, adaptado de Pozo (2002), Ballou (2006) e Silva Reis e Constante (2011). Outros cálculos, adaptados de outros autores, têm a citação no texto.



**TABELA 7-1 – COMPOSIÇÃO DOS ITENS DE CUSTO DE ARMAZENAGEM DA MADEIRA PARA ENERGIA**

A – CUSTO DE AQUISIÇÃO DA MADEIRA PARA ENERGIA		
COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS A		DIVISÃO DE CUSTOS
A1	Custo de compra da madeira	Custo variável
A2	Custo de capital	Custo Fixo
B – CUSTO DE ESTOQUE		
COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS B		DIVISÃO DE CUSTOS
B1	Equipamentos – depreciação	Custo fixo
B2	Manutenção do trator e equipamentos	Custo variável
B3	Pneus	Custo variável
B4	Custo combustível e lubrificante	Custo variável
B5	Salário + encargos	Custo variável
B6	Custo de seguro	Custo fixo
B7	Custo da área ocupada pelo estoque	Custo fixo
C – CUSTOS ADMINISTRATIVOS		
COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS C		DIVISÃO DE CUSTOS
Custos administrativos		Custo fixo

#### A. Custo de aquisição de madeira para energia

O item Custo de Aquisição compreende o custo de compra da madeira para energia e o custo de capital, que expressa o custo do valor do investimento no estoque ao longo do tempo médio de permanência.

##### A.1 Custo de compra da madeira

O valor de aquisição da madeira considera o preço de compra da madeira no valor de R\$ 80,00/m³ posto no pátio e a quantidade estocada para suprimento de 7 meses. A cooperativa faz duas aquisições anuais. O custo de compra é dado pela Equação 7-1.

$$A_1 = PMen \times Qe \quad \text{Equação 7-1}$$

Em que:

PMen = Preço da madeira para energia (R\$/m³)

Qe = Quantidade de estoque para suprimento para 7 meses (m³)

##### A.2 Custo de capital

O custo de capital foi calculado conforme citado por Silva Reis & Constante (2011):

$$CC = \sum E_{mi} \times V_{mi} \times Tx \quad \text{Equação 7-2}$$

Em que:

CC = custo de capital (R\$/mês)

$E_{mi}$  = Estoque médio no período em m<sup>3</sup> para mercadoria i (madeira)

$V_{mi}$  = Valor médio por m<sup>3</sup> (preço de compra) da mercadoria no período i (R\$/m<sup>3</sup>)

$Tx$  = taxa de juros. Os juros considerados remuneradores do capital próprio foram de 1,05% ao mês, considerando a média ponderada da taxa SELIC em 2015.

$i$  = Tempo médio de estoque equivalente a 7 meses de secagem.

## B. Custo de manutenção do estoque

### B.1 Depreciação: Equipamento – trator e implementos

O custo do equipamento foi realizado considerando os valores de mercado de um trator auto carregável - equipado com grua (garra) e carreta para a movimentação da madeira no pátio. Para o seguinte cálculo utilizou-se a metodologia para o CARC - Custo anual de recuperação de capital, que representa a depreciação adicionada dos juros no período, conforme Equação 7-3.

$$CARC = \frac{(C-R)}{\left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]} + Ri \quad \text{Equação 7-3}$$

Em que:

$C$  = Custo inicial;

$R$  = valor residual ou valor recuperável no fim da vida útil do bem;

$n$  = Tempo de vida econômica em anos.

$i$  = Taxa de juros (atratividade) ao ano;

Considerou-se: a vida útil do trator e implementos de 10 anos e 25% o percentual de valor residual. Os valores utilizados para o cálculo foram referentes a: Trator Valtra (R\$ 142.000,00) e Carreta Penzsaaur (R\$ 185.000,00).

### B.2 Manutenção do trator e implementos

A manutenção do trator e implementos por ano compreende as atividades de reparos, consertos e reposição de peças. que recaem sobre o uso, calculados ao custo de 70% do valor da depreciação conforme citado por Silva *et al.* (2010).

$$B_2 = 0,70 \times B_1 \quad \text{Equação 7-4}$$

### B.3 Custo de manutenção de pneus

O custo de pneus por ano foi calculado através da fórmula adaptada Lopes (2007), Machado & Lopes (2000) e Dario *et al* (2014):

$$C_p = \frac{(N \times V_p) + Z}{H} \quad \text{Equação 7-5}$$

Em que:

$C_p$  = Custo de pneus por hora efetiva para uso na caldeira (R\$/hf)

$N$  = Número de pneus

$V_p$  = Valor de aquisição do pneu (R\$)

$H$  = Vida útil do pneu em horas efetivas (hf) – 11.520 hf (equivalente a 5 anos)

$Z$  = custos de conserto e manutenção dos pneus (R\$/hf) – equivalente a 54% dos custos de manutenção  $B_2$  (Dario *et al*, 2014).

A adaptação do cálculo envolve, inicialmente, a equação de Lopes (2007) que explicitava o custo dos pneus de acordo com o valor de depreciação por hora dos mesmos.

Dario *et al* (2014) concluiu que 54% do custo de manutenção mensal é referente aos custos aplicados aos pneus (consertos, recapeamentos, substituição, etc.), nas condições de seu experimento. Considerou-se a carga horária de 44 horas por semana.

**TABELA 7-2 – VALORES DOS PNEUS UTILIZADOS PARA CÁLCULO**

Pneu	Valor aquisição/unidade ( $V_p$ )	Quantidade ( $N$ )
14.9-24	R\$ 1.600,00	2
18.4-34	R\$ 2.600,00	2
500/600	R\$ 3.200,00	4

Fonte: Pesquisa de preços on line – médias em jul/2015.

### B.4 Custo de combustível e lubrificantes

O custo de combustíveis e lubrificantes usados por hora efetiva foi calculado conforme sugerido por Silva *et al.* (2010) e adaptado para este trabalho.

$$B_4 = C_c + C_{lg} + C_{oh} \quad \text{Equação 7-6}$$

Segundo Harry *et al.* (1991) o consumo de combustível varia conforme a potência do motor, o fator de carga, altitude, temperatura e tipo de combustível utilizado. Para efeitos dos cálculos propostos serão considerados os consumos médios e preços médios relatados em endereço eletrônico da ANP – Agência Nacional do Petróleo, gás natural e combustível (R\$ 2,75/l de óleo diesel) para um consumo relatado pela empresa de 18 litros/hora e 8 horas de trabalho por dia.

$$C_c = P_c \times C \quad \text{Equação 7-7}$$

$$C_{lg} = 0,30 \times C_c \quad \text{Equação 7-8}$$

$$C_{oh} = 0,5 \times C_c \quad \text{Equação 7-9}$$

Em que:

$C_c$  = custo de combustível por hora efetiva

$P_c$  = Preço do combustível (diesel)/litro

$C$  = Consumo de óleo diesel/ hora de trabalho

$C_{lg}$  = Custo de lubrificante e graxas/hora efetiva

$C_{oh}$  = Custo com óleo hidráulico/hora efetiva

## B.5 Salários – tratorista e ajudantes

Os valores de salários incluem o valor principal e todos os encargos e benefícios que recaem sobre o mesmo. A base salarial praticada pela empresa é de R\$ 1.300,00/mês para tratorista e R\$ 950,00/mês para ajudante.

Cada empresa ou atividade tem suas próprias características de composição de custos e deve ser salientado que é vedado às cooperativas a opção ao simples nacional. Dessa forma os valores incidentes sobre salários mensais dos empregados da cooperativa têm a seguinte composição (TABELA 7-3).

**TABELA 7-3 - % DE ENCARGOS E BENEFÍCIOS INCIDENTES SOBRE SALÁRIOS**

ENCARGOS SOCIAIS E TRABALHISTAS		(%)	(%)
ENCARGOS TRABALHISTAS			
13º salário			8,33%
Férias			11,11%
ENCARGOS SOCIAIS			
INSS		20%	
RAT		3%	
Salário educação		2,50%	
INCRA/SEST/SEBRAE/SENAT		3,30%	
FGTS		8%	
FGTS/Provisão multa rescisória		4%	
Total previdenciário			40,80%
Previdenciário s/ 13º e férias			7,93%
SOMA			68,17%

Os salários podem ser calculados por:

$$B_5 = \frac{\text{Salário} + (\text{salário} \times 68,17\%)}{\text{quantidade de insumo utilizado no mês}} \quad \text{Equação 7-10}$$

Em que:

$B_5$  = salário em R\$/m³

Quantidade de insumo utilizado no mês refere-se ao total de madeira entre caldeira e secadores abastecidos.

#### B.6. Custo de seguro

A CAPAL opera com a contabilização de passivos contingentes fiscais e trabalhistas para o suprimento de prováveis perdas, e outras provisões para redução do risco de quebra técnica, participação nas sobras e compra de produtos agrícolas. A empresa mantém uma política de seguros considerados suficientes para cobertura integral da empresa. Para os cálculos desta análise econômica foi considerado o valor de seguro sobre o valor do maquinário utilizado na atividade de armazenamento da madeira para energia à alíquota de 3% ao ano conforme sugerido pela FAO (1974), uma vez que os outros itens já são cobertos, não sendo considerado o custeio do o seguro geral da empresa.

$$B_6 = V_i \times 3\% \quad \text{Equação 7-11}$$

Em que:

$V_i$  = Valor inicial do trator e implemento

### B.7 Custo de área ocupada pelo estoque/m<sup>3</sup>

A área ocupada pelo estoque de madeira para energia leva em consideração os seguintes parâmetros: toretes de madeira de 1,2m comprimento e 0,2m DAP, altura de empilhamento 3m.

$$B_3 = (S \times \text{Preço médio do m}^2) + \text{IPTU proporcional} \quad \text{Equação 7-12}$$

$$S = \left( \frac{\text{Quantidade estocada}}{\text{altura de empilhamento}} \right) \quad \text{Equação 7-13}$$

Em que:

$S$  = Área ocupada pelo estoque em m<sup>2</sup>

$\text{Preço médio do m}^2$  = Preços médios de mercado para locação/m<sup>2</sup>

$\text{IPTU}$  = 2% do valor venal para imóveis não edificadas.

Considerou-se o valor de locação de área localizada próxima à cooperativa, ao preço de R\$ 4,71/m<sup>2</sup>, valor médio obtido junto a imobiliárias da região.

A madeira para energia armazenada não gera custo de obsolescência mesmo sendo longo o período de secagem da madeira no pátio.

O uso da água para manutenção do pátio é insignificante, utilizada esporadicamente em épocas de secas prolongadas a fim de reduzir a poeira e o risco de incêndios, por estes motivos não foram contabilizados.

### C. Custos administrativos

Os custos administrativos referem-se a todas as operações indiretas realizadas para a produção (gastos com telefone, energia, solicitações e contratos de pedido, etc.) e foram calculados por adaptação da metodologia desenvolvida pelo *Instituto de Logística e Supply Chain* publicado por Silva Reis e Constante (2011), considerando os custos administrativos em 4% dos custos logísticos de transporte e armazenagem, expresso em custo unitário.

$$C = (A + B) \times 4\% \quad \text{Equação 7-14}$$

Em que:

$A$  = Custo de capital da madeira para energia (R\$/mês)

$B$  = Custo de manutenção do estoque (R\$/mês).

### C.1 Custo de armazenagem da madeira para energia

Utilizando os conceitos e definições das variáveis já descritas tem-se que o custo do estoque da madeira para energia é dado pela Equação 7-15 e o custo unitário médio pela Equação 7-16.

$$CMa = A + B + C \quad \text{Equação 7-15}$$

$$CUMa = \frac{CMa}{Q} \quad \text{Equação 7-16}$$

Em que os custos são calculados com base em R\$/mês:

$CMa$  = Custo da armazenagem de madeira para energia,

$A$  = Custo de aquisição da madeira para energia,

$B$  = Custo de manutenção do estoque de madeira para energia,

$C$  = Custos administrativos

$CUMa$  = Custo unitário da madeira para energia,

$Q$  = Quantidade de madeira utilizada.

## 7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.3.1 Avaliação econômica da madeira para energia

**TABELA 7-4 – CUSTO DE ARMAZENAGEM DA MADEIRA PARA ENERGIA**

COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS A	VALOR	UNIDADE	R\$/MÊS
A1 Custo de compra da madeira*	R\$ 560.000,00	R\$ em 7 meses	R\$ 80.000,00
A2 Custo de capital	R\$ 5.880,00	R\$ em 7 meses	R\$ 840,00
Total do custo A			R\$ 80.840,00
COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS B			
B1 Depreciação trator e implementos	R\$ 54.616,50	R\$/ano	R\$ 4.551,37
B2 Manutenção do trator e implementos	R\$ 38.231,55	R\$/ano	R\$ 3.185,96
B3 Custo de manutenção de pneus	R\$ 2,04	R\$/horas efetivas	R\$ 359,04
B4 Custo de combustível e lubrificantes	R\$ 89,10	R\$/hora	R\$ 21.384,00
B5 Salários	R\$ 5,38	R\$/m³ madeira	R\$ 5.380,00
B6 Seguro e diversos	R\$ 9.810,00	R\$/ano	R\$ 817,50
B7 Custo da área ocupada pelo estoque	R\$ 11.354,27	R\$ em 7 meses	R\$ 1.622,04
Total do custo B			R\$ 37.299,91
COMPOSIÇÃO DO CUSTO C			
C Custos administrativos			R\$ 4.725,59
Total do custo C			R\$ 4.725,59
Total do custo de armazenagem da madeira para energia em R\$/mês			R\$ 122.865,50
Custo unitário da madeira para energia em R\$/m³			R\$ 122,86

\* Valor referente ao estoque de 7 meses, conforme metodologia

Os resultados apontam que com relação à composição dos itens de custo da madeira armazenada para energia na CAPAL, o custo de aquisição é responsável por 65,8% do custo total enquanto o custo de manutenção do estoque responde por 30,2%.

O alto peso do custo de aquisição da madeira indica as irregularidades citadas por Schettino (2009) na relação oferta x demanda de eucalipto para as regiões de Jaguariaíva e Ponta Grossa, onde Arapoti está inserida, por configurarem regiões de pólo industrial madeireiro. A oferta de madeira para energia, em tais condições, orbita em um ambiente de incerteza já que o preço da madeira no mercado influencia o produtor a adiantar ou adiar o corte (CARVALHO *et al.*, 2015). A região ainda sofre a interferência da expansão de produção da Klabin, em 2016, cuja expectativa é dobrar o consumo de madeira.

Em virtude da alta concorrência pelo insumo, a cooperativa mantém o estoque equivalente de, ao menos, a quantidade equivalente ao tempo médio de secagem da madeira no pátio (6 a 8 meses), comprando a madeira duas vezes por ano, garantindo sua produção. Em avaliação dos componentes na estrutura dos custos logísticos, Bronoski (2007) verificou que as empresas cujos produtos apresentam um maior valor agregado são as que mantêm menores volumes de estoque de madeira. Nesse sentido, a empresa adquiriu recentemente uma área de cultivo florestal para ficar independente das flutuações de preço e do nível de oferta de madeira no mercado.

Os combustíveis e lubrificantes têm grande influência na formação do custo de manutenção do estoque (57%), compondo 17,4% do custo total de armazenagem. Embora seja um custo representativo é válido se destacar que o preço do óleo diesel teve uma redução real de 2006 a 2012 em 27%, e um aumento de 9,8% entre 2012 e 2014 (ANP, 2015). Considerando as variações do preço pago pelo combustível verifica-se que sua influência no custo de armazenagem é bem menor que as variações do preço da madeira.

O custo fixo da armazenagem da madeira para energia responde por 10,2% e os custos variáveis somam 89,8%. Observa-se que para a redução dos custos totais de armazenagem da madeira sem afetar a produção, é necessário uma melhor capacitação da mão de obra, a fim de reduzir os custos de manutenção dos equipamentos (9% do custo do estoque), e uma melhor gestão de pátio, evitando gastos excessivos de combustível.



O custo da área ocupada pelo estoque é decorrente do estoque de segurança estabelecido pela empresa e constitui-se em um custo oportunidade da atividade. Embora contribua com apenas 1,32% do custo total de armazenagem, é um custo fixo que poderia ser evitado caso a empresa utilizasse outra forma de energia. Deve ser ressaltado que este custo não contemplou a área referente aos corredores necessários à movimentação da madeira no pátio, o que poderia dobrar ou triplicar este valor.

O estoque de segurança pode gerar custos desnecessários (manutenção, financeiros e armazenagem) ou pode incorrer em perdas por não haver recursos para a produção (CORRÊA & CORRÊA, 2005). Porém, a área florestal da cooperativa ainda está em início de operação e não é o suficiente para atender a demanda interna de madeira para a caldeira e secadores, agravado com o aumento da produção da empresa que vai aumentar muito o consumo de madeira para a caldeira.

Berger & Garlipp (1980) fixaram o estoque de segurança para a madeira usada como combustível para a produção de vapor em 40 dias para a madeira e em 15 dias para o estoque de óleo combustível. Para a CAPAL o aumento do tempo do estoque de segurança se deve aos aspectos já mencionados, relativos ao mercado de madeira da região.

Quanto ao custo unitário da madeira para energia armazenada (R\$ 122,86), é maior em 54% do valor inicial de aquisição (R\$ 80,00).

O resultado desse trabalho proporciona uma visão um pouco mais abrangente sobre os custos de matéria prima energética em caso de investimentos em tecnologias alternativas ou de melhoria de processos. Como exemplo, em estudo realizado por Ribeiro & Vicari (2005) concluiu-se que o custo da secagem de grãos por tonelada (R\$/ton. grãos) aumenta em 83% com o uso do GLP comparativamente ao uso da madeira, considerado os custos de mão de obra, energia elétrica e preço pago do combustível. Em caso da adição dos 54% referente aos custos de armazenagem sobre o preço da madeira, a diferença cairia para 33%.

Dessa forma, dados mais precisos sobre a armazenagem da madeira para energia facilitam o desenvolvimento de modelos quantitativos para o gerenciamento. A definição, identificação e valoração dos custos internos por atividade pode favorecer o desempenho do planejamento e controle operacional dos estoques e, portanto, dos custos imobilizados na armazenagem (WANKE, 2006).

Outro ponto descrito por Tadeu (2008) com relação aos estoques e que se aplica na armazenagem da madeira é a necessidade de melhorar os processos administrativos na seleção, cadastro, diversidade e contrato de fornecedores qualificados a fim de reduzir o tempo de entrega e volumes associados, aumentando o giro de estoque e reduzindo: o espaço físico para a acomodação do mesmo, os riscos, perdas, desvios e depreciação.

#### 7.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O custo de armazenagem aumentou em 54% custo de compra da madeira. Na composição desses custos o maior peso é o preço da madeira para energia (65,8%), e na sequência o custo de combustíveis e lubrificantes (17,4%).

Os custos fixos, representados pelo custo de capital, custos administrativos, depreciação, seguro e cálculo da área ocupada pelo estoque, somaram 10,2%. A inclusão da área ocupada pelo estoque no custo de manutenção, embora não seja muito representativo neste caso (1,32%), tem sido pouco utilizado nas análises econômicas e, dependendo do tipo de investimento ou de atividade, pode alterar a composição do custo de armazenagem.

A utilização do procedimento de custeio na atividade de armazenamento da madeira para o uso como energia fornece uma visão individualizada do processo, auxilia no gerenciamento geral dos custos e, conseqüentemente, permite o planejamento de ações para o aumento do lucro. No caso apresentado, como exemplo, a diluição do custo real da madeira utilizada para energia (R\$122,86) em outras metodologias de custeio pode mascarar este custo impedindo que a empresa busque por outras fontes de energia para as caldeiras e secadores.

Este trabalho utilizou os dados disponibilizados pela empresa. Dessa forma sugere-se que as empresas que utilizem a madeira em seu processo produtivo tenham estes custos aprimorados e detalhados em suas análises econômicas.

## REFERÊNCIAS

AFONSO JR, P.C., *et al.* Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 28-35, jan/abr 2006.

ANP – Agência Nacional de Petróleo. **Sistema de Levantamento de Preços Mensal** – Resumo II. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>> Acesso em 12/10/2015.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARROS, M. V. **Fator de cubicação para madeira empilhada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, com toretes de dois comprimentos, e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente**. 2006. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BERGER, R.; GARLIPP, R.C.D. Síntese econômica da geração de vapor para uso industrial: madeira vs óleo combustível. **Série Técnica IPEF**, v.1, n.2, p.E1-E9, Piracicaba, Jul. 1980.

BRONOSKI, M. **Análise da eficiência logística na gestão de suprimentos da indústria de compensados na região de Curitiba**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

CARVALHO, K.H.A. *et al.* Influência da taxa de juros e do preço da madeira em modelos de regulação florestal. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v.35, n.82, p.143-151, ab./jun, 2015.

CORRÊA, H.L. & CORRÊA, C.A. **Administração de produção e operações**. Editora Atlas. Curitiba, 2005.

CUNHA, Adriano Sérgio. **Análise de custos – livro didático**. 2ª Edição, 170 pg; Palhoça – SC: UnisulVirtual, 2007.

DARIO, M. *et al.* Indicadores de desempenho, práticas e custos da manutenção na gestão de pneus de uma empresa de transportes. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.14, nº4, p. 1235-1269, out/dez, 2014. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1450>> Acesso em: 23/02/2015.

FAO – Food and agriculture organization of the United Nations. **Logging and log transport in tropical high forest**. FAO Forestry development paper. Rome, 1974.

HARRY, G.G.; FONTES, J.M.; MACHADO, C.C.; SANTOS, S.L. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: **Simpósio brasileiro**

**sobre exploração e transporte florestal**, 1, 1991, Belo Horizonte. Anais.. Belo Horizonte: UFV/SIF, 1991. P. 57-75

KRAUSE JR, J.; FIEDLER, N.C.; CANZIAN, W.P.; GONÇALVES, S.B.; CARMO, F.C.A. Custos da colheita e transporte florestal de produtores rurais fomentados em diferentes distâncias. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, Garça – SP; Ano XII, v.24, n.1. Agosto 2014. Disponível em: <<http://www.faef.revista.inf.br>> Acesso em 24/03/2015.

LIMA, M. P. Custos logísticos na economia brasileira. **Revista Tecnológica**. Centro de estudos em logística, Jan/2006. p. 64-67. São Paulo, 2006.

LOPES, S. E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. Tese (Doutorado em engenharia agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2007.

LOPES, R. P. *et al.* Energia no pré-processamento de produtos agrícolas. In: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Editor Juarez de Souza e Silva. Editora Aprenda Fácil, 2ª Edição. Viçosa – MG, 2008.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. **Ciência do trabalho florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 65 p.

MACHADO, C.C. & LOPES, E.S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**, v.6, n.2, p.124-129, 2000.

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília, Ministério da Agricultura. IBDF/DPq — LPF, 1988.

MOURA, R.A. **Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais**. 4ª ed. São Paulo: IMAM, 1998. V.1. (Série manual de logística).

POZO, Hamilton. **Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: uma abordagem logística**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002

REZENDE, R.N. **Secagem de toras de clones de *Eucalyptus* empregados na produção de carvão**. Dissertação. Programa de pós-graduação em ciência e tecnologia da madeira, Universidade de Lavras, 2009.

RIBEIRO, I. & VICARI, C. C. – Análise de viabilidade econômica para a secagem de milho com Gás Liquefeito de Petróleo. In: **IV Seminário do Centro de Ciências Sociais Aplicadas (CCSA)** da Unioeste. Cascavel, junho 2005. Disponível em <http://www.unioeste.br/campi/cascavel/ccsa/IVSeminario/IVSeminario/Artigos/07.pdf> Acesso em 14/03/2014.

RODRIGUES, Paulo R. A. **Gestão Estratégica da Armazenagem**. 2ª Edição, São Paulo: Edições Aduaneiras, 2008.

SANTOS, S.L.M. e MONTEIRO, H.M. Otimização do estoque de madeira no campo em função do custo de transporte florestal. In: **Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos**, 1997. Disponível em:

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96898/1/p.184-187.-2pdf.pdf>  
Acesso em 23/03/2015.

SCHETTINO, S. Tendências de mercado da madeira – Estado do Paraná. In: **Anais da X Semana de Estudos Florestais e I Seminário de Atualização Florestal**. UNICENTRO, 2009.

SILVA REIS, M.A. & CONSTANTE, J.M. **Metodologia para cálculo dos custos logísticos associados ao fluxo de mercadorias**. Fundação Getúlio Vargas – EAESP Escola de administração de empresas de São Paulo. São Paulo – SP. Disponível em: <<http://eaesp.fgvsp.br/>> Acesso em: 15/01/2015.

SILVA, J.C.P. *et al.* Esterco de gado leiteiro associado à adubação mineral e sua influência na fertilidade de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34:453-463, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>> Acesso em: 12/12/2013

TADEU, H. F. B. **Logística Empresarial: Riscos e Oportunidades**. Belo Horizonte: Fundac, 2008. 300 p.

WANKE, P. **Previsão de Venda: processos organizacionais e métodos quantitativos e qualitativos**. São Paulo: Atlas, 2006.

## 8 CAPÍTULO V – O CUSTO OPORTUNIDADE DO ESTERCO DE GADO LEITEIRO

### RESUMO

A bovinocultura leiteira hoje acumula uma grande quantidade de esterco e outros resíduos que muitas vezes são depositados indevidamente causando impactos ambientais. A valoração do esterco transformando-o de um passivo para um ativo ambiental na forma de fertilizante ou biomassa energética é um custo oportunidade que deve ser considerado para melhorar a rentabilidade da produção de leite. Esta pesquisa teve por objetivo valorar o esterco bovino através do método de preço de mercado, servindo como instrumento para a gestão dos resíduos da bovinocultura leiteira. O valor do esterco variou de R\$ 0,07 a R\$ 1,51/kg como fertilizante e de R\$ 0,87 a R\$ 2,06/kg para energia, desconsiderando-se os custos logísticos e custo de secagem da biomassa.

**Palavras chave:** Valoração ambiental, gestão de resíduos, biomassa energética.

### OPPORTUNITY COST OF MANURE FROM DAIRY CATTLE

### ABSTRACT

Nowadays the dairy cattle farms accumulates a lot of manure and other wastes which are often improperly deposited causing environmental impacts. The valuation of manure transforming it from a passive to an environmental assets as fertilizer or as biomass energy is an opportunity cost that should be considered to improve the profitability of milk production. This study aimed to value the cattle manure through the market price method, serving as a tool for waste management. The value of manure ranged from R \$ 0.07 to R \$ 1.51 / kg as fertilizer and R \$ 0.87 to R \$ 2.06 / kg for energy, disregarding the logistical costs and cost of drying the biomass.

**Keywords:** Environmental valuation, waste management, biomass energy.

## 8.1 INTRODUÇÃO

A melhor utilização dos recursos existentes e inovações tecnológicas para a redução de custos ou aumentar os rendimentos da produção leiteira têm sido objeto de pesquisas a fim de se manter a produção, uma vez que o custo operacional total da produção de leite situa-se entre 93 a 97% da renda (CEPEA/ESALQ, 2014; SANTOS & LOPES, 2014).

Para que ocorra um desenvolvimento rural sustentável os produtores rurais devem ser valorizados, garantindo que a produção de alimentos saudáveis tenha continuidade. Dessa forma, há a necessidade de que condicionantes mais abrangentes envolvendo todas as esferas do poder público e das estruturas comunitárias busquem por soluções ambientais e econômicas através de políticas e ações mais eficientes e pontuais (PAVESE, 2010; PORTUGAL JR *et al.*, 2015).

De sua parte, produtores têm investido em tecnologias de manejo (reprodutivo, nutricional, instalações e recursos humanos), melhorando a relação entre a rentabilidade da atividade e a área ocupada, através de sistemas intensivos de criação, que tem como consequência o grande acúmulo de esterco e de outros resíduos (FERREIRA, *et al.*, 2012).

A utilização mais usual do esterco bovino é na substituição do fertilizante químico, constituindo um custo oportunidade importante, definido este como “o valor do recurso no seu melhor uso alternativo” (PEREIRA *et al.*, 1990), o que auxilia na redução do custo de produção. As formas de utilização do esterco variam de acordo com a região (localização, cultura e tradição), citando como exemplo na Índia onde o esterco é destinado tanto para a formação de paredes e pisos quando adicionados de argila, quanto para fins energéticos (MAITHEL, 2009).

No Brasil o esterco tem sido valorado apenas assumindo seu papel como fertilizante, tomando por base o preço individual da proporção N:P:K da composição (nitrogênio, fósforo e potássio), ao qual Van Horn *et al.* (1994) ressaltam ser um valor de difícil quantificação devido à volatilização do N. Seguindo esta metodologia, Paniago (2006) obteve o valor de R\$ 0,18/kg de esterco seco (valor corrigido para setembro de 2014). No mercado virtual os preços se apresentam em diferentes condições de pagamento e entrega, não havendo detalhes sobre como foram formados, variando entre R\$ 1,75/kg a R\$ 130,00/m<sup>3</sup> (setembro de 2014).

O desconhecimento sobre os custos ambientais resultantes das atividades produtivas dificultam a valoração do esterco em qualquer destinação dada ao mesmo, sendo difícil a internalização dos custos ambientais associados e, conseqüentemente, a disposição das pessoas a pagar por um passivo ambiental (MARTINS, 2015). As metodologias de valoração ambiental propostas ainda sofrem muitas críticas por não revelarem com precisão os valores dos custos ambientais (MOTTA & MENDES, 2001).

Isoladamente, a valoração em termos monetários minimiza a importância dos agroecossistemas e a valoração em termos ecológicos não considera os aspectos socioculturais, divergências que colocam em dúvida a contabilidade ambiental como um instrumento capaz de promover uma melhor relação do ser humano com a natureza (MOTTA & MENDES, 2001; HOLANDA JR, 2001).

A metodologia da função da produção através da análise de mercados de bens substitutos utiliza os preços de mercado do bem ou serviço para estimar o valor econômico de um recurso ambiental por sua contribuição como insumo ou fator na produção de outro (MOTTA, 1997), o que demonstra ser a melhor forma de valorar o esterco.

Este trabalho tem por objetivo instrumentalizar a valoração do esterco bovino em suas alternativas de uso, como fertilizante e como fonte de energia.

## 8.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O esterco foi valorado através do método de preço de mercado em base seca, por fornecer uma medida mais objetiva do valor econômica do recurso ambiental sugerido por Motta (1997), indicando o custo econômico de oportunidade do esterco.

Esta metodologia tem como fator limitante a não cobertura de valores de opção e existência que no presente caso poderiam estar associados à possibilidade de outras utilizações do esterco e, dependendo do uso, da redução da atração de moscas para a comunidade do entorno das granjas. Deve ser salientado que não há parâmetros de preço de esterco na umidade natural por este apresentar variações



ainda maiores de composição e umidade; e utilizou-se apenas o valor de uso direto do esterco tanto para fertilização de áreas agropecuárias quanto para energia.

Dados para a valoração do esterco para uso como adubo utilizaram os valores de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) extraídos de Oshiro (2015) para os teores de Nitrogênio (N=2,3%) e de Prestes (2007) para o fósforo total (P=0,22%) e potássio (K=0,29%), e os preços médios de mercado obtidos através de endereços eletrônicos especializados e entrevistas, considerado o esterco em base seca.

Calculou-se um indicador de balanço de nutrientes nas formulações prontas para que se alcançasse as proporções de N:P:K conforme os dados levantados.

Para a valoração do esterco como biomassa energética utilizou-se os resultados obtidos por Oshiro (2015) para o poder calorífico inferior (PCI) do esterco de 2844 kcal/kg. Os valores para o PCI e preço de mercado dos diferentes combustíveis foram extraídos dos dados publicados no Balanço Energético Nacional de 2015 (EPE, 2015) e nos endereços eletrônicos da ANEEL e ANP.

Com os valores de PCI pôde-se fazer uma correspondência entre os diferentes combustíveis em kcal e em moeda corrente.

A razão entre o PCI do esterco e fonte energética comparativa tem como resultante o que se chamou de fator de equivalência energética, conforme a equação 8-1:

$$FEE = \frac{PCI_{\text{esterco}}}{PCI_{\text{combustível}}} \quad \text{Equação 8-1}$$

Em que:

*FEE* = quanto representa o PCI do esterco em função do PCI de outro combustível

*PCI esterco e PCI combustível* = Poder calorífico inferior do esterco e de outros combustíveis (EPE, 2015)

Ou seja, energeticamente o esterco corresponde à FEE em relação ao outro combustível.

O fator de equivalência energética permitiu o cálculo do valor equivalente do esterco considerando o PCI do mesmo (2844 kcal/kg), através da equação 8-2.

$$Peq. = \text{Preço do combustível por unidade} \times FEE \quad \text{Equação 8-2}$$

Em que:

*Peq* = Preço referente às 2844 kcal/kg do esterco com base no preço do combustível analisado.

A razão entre o PCI do combustível e o PCI do esterco tem como resultante o FPE fator de preço equivalente, correspondendo ao valor do esterco com a quantidade de kcal do combustível a ser comparado.

$$FPE = \frac{PCI_{combustível}}{PCI_{esterco}} \quad \text{Equação 8-3}$$

Em que:

*FPE* = quanto de esterco é necessário para alcançar o mesmo PCI do combustível

Com esse dado calculou-se o preço em calorias do combustível equivalente, conforme Equação 8-4.

$$PCombEq. = \text{Preço unitário do combustível} \times FPE \quad \text{Equação 8-4}$$

Em que:

*PCombEq* = Preço referente ao esterco na quantidade calórica do combustível comparado, com base no preço deste combustível.

## 8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 8.3.1 Valoração do esterco como fertilizante

Os valores de N:P:K utilizados, respectivamente, 2,3%:0,22%:0,29% dá uma relação aproximada de 100:10:10.

No varejo são encontrados adubos em embalagens de 1kg, 2 kg, 10kg e 25 kg, em diversas formulações prontas, ao qual se optou pelo levantamento de preço na formulação 10:10:10 e ureia 40%N em embalagens de 25 kg, a fim de facilitar o cálculo do balanço de nutrientes do adubo para chegar à relação do NPK do esterco.

Os valores obtidos em entrevistas realizadas em três lojas agropecuárias de Curitiba em setembro de 2015 são apresentados na TABELA 8-1.

**TABELA 8-1 – LEVANTAMENTO DE PREÇOS DE ADUBO N:P:K 10:10:10, URÉIA 40% N E ADUBO ORGÂNICO (RESTOS DE VEGETAIS DECOOMPOSTOS)**

Descrição	A (R\$/25kg)	B (R\$/25kg)	C (R\$/25kg)	Média	BN	TOTAL
Adubo 10:10:10	R\$ 48,30	R\$ 50,30	R\$ 48,10	R\$ 48,90	4	R\$ 195,60
Uréia 40% N	R\$ 51,50	R\$ 53,90	R\$ 53,30	R\$ 52,90	8	R\$ 423,20
TOTAL R\$/300kg						R\$ 618,80
PREÇO MÉDIO DA COMPOSIÇÃO R\$/kg						R\$ 2,06
Adubo orgânico	R\$ 22,30	R\$ 21,50	R\$ 21,90	R\$ 21,90		R\$ 21,90
PREÇO MÉDIO R\$/kg						R\$ 0,87

BN – balanço de nutrientes

A equiparação do esterco com os preços do adubo NPK+uréia teriam o valor médio de R\$ 2,06/kg em vendas embaladas no varejo, considerando os preços em lojas do centro urbano de Curitiba.

Os preços de venda de fertilizante a granel são apresentados em R\$/ton. Os resultados obtidos referem-se ao preço de formulados por encomenda em duas empresas especializadas, posto em Paranaguá - PR:

Empresa D – R\$ 1400,00/tonelada – R\$ 1,40/kg

Empresa E – R\$ 1106,00/tonelada – R\$ 1,10/kg

Os resultados apontam que o custo oportunidade do esterco em sua utilização como fertilizante varia entre R\$ 0,87 a R\$ 2,06 por kg em base seca, sem inclusão do frete, dependendo das condições de negociação sobre a quantidade e condições de pagamento.

Deve ser observado que a composição do esterco pode variar de acordo com as condições de manejo do rebanho e de manejo do esterco. Os valores consideram o esterco seco com no máximo 10% de umidade, conforme as especificações fornecidas em rótulos de adubos orgânicos.

Outro ponto importante é que para uma análise mais específica da valoração do esterco como fertilizante a tomada de preços dos nutrientes deve ser realizada diretamente em fornecedores regionais.

### 8.3.2 Valoração do esterco como fonte de energia

No Brasil o maior uso do esterco como fonte de energia é através do biogás produzido nos processos fermentativos dos biodigestores onde 1 kg de esterco bovino pode produzir de 0,036 a 0,042 m<sup>3</sup> de biogás (RIBEIRO *et al*, 2007).

Porém, deve ser ressaltado que, segundo Castro e Cortez (1998), a temperatura ambiental adequada para o processo fermentativo é de 31°C e no caso

da bovinocultura leiteira a temperatura ideal para uma melhor produtividade das vacas se dá em temperaturas médias de 16°C (PARSAMEHR, 2012).

Este estudo trata da valoração sobre a substituição direta de bens utilizando preços de mercado, portanto, como o biogás é um produto secundário da biodigestão e normalmente utilizado internamente nas fazendas, não tendo um valor comercial, não foi considerado.

A TABELA 8-2 apresenta os valores de equivalência dos preços de mercado, considerando o PCI do esterco de vacas leiteira em 2844 kcal/kg.

**TABELA 8-2 – EQUIVALÊNCIA DE PREÇOS DE MERCADO PARA O ESTERCO BOVINO**

Combustível*	PCI kcal/kg	R\$/un	R\$/kcal	FEE	R\$/kcal eq.	FPE	R\$/CombEq
Álcool hidratado	6300	1,69/l	0,00027	0,45	0,76	2,21	3,73/l
GLP	11100	2,46/kg	0,00022	0,25	0,63	3,90	9,55/kg
Óleo diesel	10100	2,51/l	0,00025	0,28	0,70	3,50	8,78/l
Lenha	3100	0,08/kg	0,00003	0,92	0,07	1,09	0,088/kg
Cavaco de madeira	3300	0,10/kg	0,00003	0,86	0,08	1,16	0,12/kg
Energia elétrica	860	0,46/kWh	0,00053	3,31	1,52	0,30	0,14/kWh
Esterco bovino	2844	-	-	-	-	-	-

FEE = Fator de equivalência do esterco; FPE = Fator de preço equivalente; GLP – Gás Liquefeito de Petróleo (R\$ 31,97/13kg); Lenha (R\$ 81,00/ton); Cavaco (R\$ 105,00/ton); Energia elétrica (459,2/MWh)

Fonte: \* Preço em distribuidora (ANP, 2015), EPE (2015), ANEEL (2015)

Na coluna R\$/kcal são apresentados os valores dos combustíveis listados por kcal fornecida. Pelos dados apresentados verifica-se que os derivados da madeira apresentam o menor preço por unidade energética (kcal) e a energia elétrica o maior valor.

Os resultados em R\$/kcal equivalente demonstram o quanto vale o esterco por kcal equivalente a outro combustível, no PCI de 2844 kcal/kg (base seca), tomando por base o valor do combustível comparado. Os menores valores alcançados para o esterco é em comparação com o preço de derivados florestais e o maior valor para energia elétrica.

Como biomassa para energia, verificou-se que o esterco pode ser valorado entre R\$ 0,07 a R\$ 1,52 por kg de biomassa seca, não considerando o processo e tempo de secagem e os valores logísticos que podem incidir sobre esse valor.

Os valores de R\$/Comb.Eq referem-se a qual seria o valor do esterco na mesma quantidade calórica que o combustível comparado. A relação FPE e o valor de R\$/Comb.Eq. permitem verificar que em termos de preço por equivalência energética com outros combustíveis, o esterco só poderia ser comparado com a

lenha e cavaco, tendo valores unitários próximos. No que se refere à energia elétrica o esterco apresenta um valor unitário energético inferior.

Os resultados obtidos não são conclusivos devido às variações de composição que o esterco pode apresentar e por não incluir na valoração do esterco os valores de custos de secagem e logísticos e a cobertura dos valores de opção e existência.

#### 8.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Waldman & Elias (2013) atrelam as dificuldades da valoração ambiental aos dados e recursos disponíveis, principalmente em face da subjetividade dos parâmetros envolvidos, na dificuldade de se valorar bens intangíveis. Esta pesquisa considerou apenas os valores diretos de substituição do recurso em seu melhor uso, baseado em preços de mercado do fertilizante e de outras matérias energéticas. Ao resultado obtido devem ainda ser acrescentados os custos de secagem e logística, o que pode inviabilizar o uso do esterco, mesmo considerando suas características de composição e energéticas.

A valoração do esterco não tem por finalidade a externalização do passivo ambiental imposta a outros agentes econômicos, o que seria uma externalidade negativa, constituindo uma falha de mercado (MARTINS, 2015). Tem sim o foco de que ao auferir parâmetros de preço de mercado para o esterco bovino, seja como uso energético ou fertilizante, produzem-se ferramentas para a agregação de valor à cadeia produtiva do leite e estimula a busca por tecnologias para a redução do passivo ambiental.

Os valores, nas condições deste trabalho, para o esterco bovino variou entre R\$ 0,70 e R\$ 2,06 por kg em matéria seca. Embora o resultado não seja preciso pôde ser identificado que o esterco possui um valor monetário que deve ser pesquisado melhor e explorado.

Pode-se observar também que é necessário, para que exista um entrelaçamento entre a sustentabilidade ambiental e os sistemas produtivos, uma visão mais sistêmica das interações econômicas-ecológicas. Estas interações podem ser obtidas com o desenvolvimento de novos indicadores econômicos e ambientais, com políticas públicas de incentivo à otimização dos recursos produtivos na utilização de resíduos das atividades e desenvolvimento tecnológico, bem como

em políticas de incentivos fiscais para a produção de combustíveis alternativos (OLIVEIRA JR, 2014; BERGER & GARLIPP, 1980).

## REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em 18/11/2015.

ANP – Agência Nacional do Petróleo. **Síntese dos preços praticados no Brasil**. Resumo II. Agosto/2015. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>> Acesso em 19/11/2015.

BERGER, R.; GARLIPP, R.C.D. Síntese econômica da geração de vapor para uso industrial: madeira vs óleo combustível. **Série Técnica IPEF**, v.1, n.2, p.E1-E9, Piracicaba, Jul. 1980.

CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Brasilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v.2, nº1, pg 97- jan-abril, 1998. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v2n1/index.htm> Acesso em: 15/12/2012.

CEPEA-ESALQ. Custos de produção pecuária de leite. **Informativo CEPEA – Análise trimestral**, edição nº 35, setembro/2014. Coordenação Prof. Dr. Sergio De Zen. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>> Acesso em: 21/01/2015.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas. **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Rio de Janeiro : EPE, 2015.

FERREIRA, A.M.; CAMPOS, A.T., *et al.* **Gado de leite: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Editores técnicos: Oriel Fajardo de Campos, João Eustáquio Cabral de Miranda. – 3ª ed. Revisada e ampliada. Brasília, DF. Embrapa, 2012.

HOLANDA JR, E. V. Usos e limitações da contabilidade ambiental na produção de leite. In: Madalena, F.E.; Matos, L.L.; Holanda Jr, E.V. (Org). **Produção de leite e sociedade: uma análise crítica da cadeia do leite no Brasil**. 1ª Ed. Belo Horizonte: FEP MVZ Editora, 2001.

MAITHEL, S. **Biomass Energy - Resource Assessment Handbook**. Prepared for APCTT Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology of the United Nations – Economic and Social Commission for Asia and Pacific (ESCAP). September, 2009. Disponível em: < <http://recap.apctt.org/Docs/Biomass.pdf>> Acesso em 5/05/2014.

MARTINS, R. C. (2015). A classificação disciplinar no mercado dos enunciados ambientais. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, 30(87), 97-114. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.17666/308797-113/2015>> Acesso em 12/12/2015.

MOTTA, R.S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. IPEA/MMA/PNUD/CNPq Rio de Janeiro, setembro de 1997.

OLIVEIRA JR, C. J. F. *et al.* A agroecologia e os serviços ambientais. **Nature and Conservation**, Aquidabã, v.7, n.1, p.19-32, 2014.

OSHIRO, C.R. **O esterco bovino como biomassa alternativa para produção de energia em cooperativa agroindustrial paranaense**. Tese. Doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PANIAGO, R. Qual o valor do esterco de confinamento de bovinos? **Beefpoint**, postado em 17/05/2006. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br>> Acesso em 18/03/2014.

PARSAMEHR, Mohammad. **Heat generation by cow dung incineration in the north of Iran**. Master Science, Environmental Engineering Department, Mid Seden University, Supervisor Dr Nils Nilsson, 2012. Disponível em: < <http://goo.gl/xpWFRQ> > Acesso em: 04/10/2014.

PAVESE, H.B. **A economia dos ecossistemas e da biodiversidade: integrando a economia da natureza**. Uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB. São Paulo: 2010.

PEREIRA, A. C. *et al* . Custo de oportunidade: conceitos e contabilização. **Cad. estud.**, São Paulo , n. 2, Apr. 1990 . Disponível em: <<http://goo.gl/qe6srX>>. Acesso em: 23/10/2014.

PORTUGAL JR, P.S. *et al.* A questão ambiental e regional sob o enfoque espacial-sistêmico-integrado: uma proposta para o desenvolvimento sustentável. **Leitura de economia política**, Campinas (23), p. 1-28, jul/dez, 2015.

PRESTES, M. T. **Efeitos de diferentes doses de esterco de gado no desenvolvimento e no balanço nutricional de mudas de angico (*Anadenanthera macrocarpa*)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade de Brasília, Faculdade de agronomia e medicina veterinária. Brasília/DF, julho 2007.

RIBEIRO, G. M. *et al* . Efeito da fonte protéica e do processamento físico do concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos dejetos. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa , v. 36, n. 6, supl. Dec. 2007. Disponível em: < <http://goo.gl/HkFxe6> > Acesso em 11/01/2013.

SANTOS, G. & LOPES, M.A. Indicadores econômicos de sistemas de produção de leite em confinamento total com alto volume de produção diária. **Ciência animal brasileira**, Goiânia, v.15, n.3, p. 239-248, jul./set. 2014

MOTTA, R. S. & MENDES, F.E. Instrumentos econômicos na gestão ambiental: aspectos teóricos e de implementação. In: ROMEIRO, A.R.; REYDON, B.P.; LEONARDI, M.L.A. **Economia do meio ambiente: teoria, política e a gestão de espaços regionais**. Campinas, SP: UNICAMP/IE, 1999. Cap. 2, 2001

VAN HORN, H.H. *et al.* Components of Dairy Manure Management Systems. **Journal of. Dairy Science**. Vol 77, nº 7, pg 2008-2030, 1994. Disponível em: <<http://goo.gl/c4ZRV0>> Acesso em 02/04/2013.

WALDMAN, R. L. & ELIAS, L. A. V. Os princípios do direito ambiental e o pagamento por serviços ambientais/Ecossistêmicos (PSA/PSE). **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, v. 69, p. 53-73, jan. 2013.



## 9 CAPÍTULO VI – ANÁLISE DE CUSTO DO USO DE EQUIPAMENTO VAPORIZADOR PARA REDUÇÃO DA UMIDADE DO ESTERCO

### RESUMO

O uso alternativo dos resíduos da pecuária leiteira depende da viabilidade do uso de tecnologias principalmente para a pré-secagem da biomassa, em virtude da alta umidade que apresentam. Pesquisas em vários países têm sido realizadas na tentativa de se encontrar a melhor solução para esses resíduos, mas mesmo nas grandes nações o custo do uso do esterco para energia ainda é alto. Este trabalho tem por objetivo analisar os custos relativos à utilização da tecnologia de vaporização para viabilizar o uso do esterco como fonte de energia alternativa em caldeiras, através do estudo de caso de uma cooperativa agroindustrial localizada em bacia leiteira do Estado do Paraná. Os resultados demonstraram que a tecnologia tem um custo compatível ao uso da madeira para energia apenas com o custo “zero” do esterco.

**Palavras-chave:** biomassa energética, custo do esterco para energia.

### ANALYSIS COST OF EQUIPMENT USED FOR REDUCE MOISTURE OF MANURE

### ABSTRACT

The alternative use of waste from dairy farming is dependent on viable technologies, particularly for pre-drying the biomass, due to the high moisture of manure. Researches in several countries are been held in attempt to find the best solution for manure, but even on the great nations the cost of using the manure for energy is still high. This work aims to analyze the costs of vaporization technology to enable the use of manure as an alternative energy source in boilers, through the case study of an agro-industrial cooperative located in dairy region of Paraná. The results demonstrate that the technology has a compatible cost with the use of wood for energy only on "zero" cost for manure.

**Key-words:** biomass energy, energy cost of manure.

## 9.1 INTRODUÇÃO

O Brasil conta hoje com aproximadamente 22,8 milhões de vacas em regime de ordenha (IBGE, 2014) onde cada uma produz em média 40 kg de dejetos por dia (KONZEN e ALVARENGA, 2005; LUCAS e SILVA, 2005), perfazendo um potencial de geração diária de 914,8 milhões de toneladas de esterco que poderiam ter seu uso parcial ou total para a geração de energia.

O uso é a melhor solução ambiental e econômica para a destinação dos resíduos (MLEKU, 2009), mas subordina-se a fatores econômicos, sociais, políticos e ambientais, incluindo a disponibilidade de tecnologia, as limitações dos custos logísticos e o valor de substituição por outras matérias primas (ALVIM *et al.*, 1999). Para o esterco também devem ser avaliadas as condições ambientais e de manejo do sistema produtivo, que podem interferir na composição da matéria orgânica, alterando também as indicações de destinação (LUCAS JR & AMORIM, 2005).

A conversão da biomassa em energia realiza-se através da combustão, gaseificação, pirólise e digestão anaeróbia, dependendo de variáveis como: teor de umidade, suprimento de oxigênio e composição (SERIO *et al.*, 2002; MLEKU, 2009). Dessas características a umidade para o esterco é um fator relevante uma vez que pode chegar a 89%. O máximo de umidade em base úmida que permite combustão situa-se em torno de 65% para madeira (QUIRINO *et al.*, 2005), porém, segundo Farinhaque (1981), para a combustão a umidade deve estar abaixo de 25%.

As pesquisas sobre o uso do esterco como biomassa energética têm se restringido à qualidade energética (MLEKU, 2009; SWEETEN *et al.*, 2010; CHIRAG *et al.*, 2011) e as tecnologias de pré-secagem disponíveis no mercado são adaptadas do processamento de grãos e outras biomassas. Segundo Silva *et al.* (2005), no Brasil as indústrias de máquinas de secagem são incompatíveis, em capacidade e preço para as pequenas e médias propriedades rurais e os preços de investimento e manutenção desses processos costumam ter alto custo, mesmo para a indústria (JONATHAN, 2013).

Algumas iniciativas particulares de secagem de esterco podem ser assistidas em vídeos disponíveis em ambiente virtual, mas sem o controle ou investigações de variáveis dentro de uma metodologia científica, que sustentem a credibilidade dos sistemas apresentados.

A fim de avaliar o custo do uso da tecnologia de vaporização para a redução da umidade do esterco, permitindo seu uso como biomassa energética, foi realizada a presente pesquisa que utilizou dados de uma cooperativa agroindustrial localizada em uma bacia leiteira do Estado do Paraná.

## 9.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 9.2.1 Referencial teórico

O esterco tem sido utilizado como combustível em várias partes do mundo, especialmente onde não há disponibilidade de lenha. Podem-se citar, como exemplo, os bolos de esterco e resíduos de colheita no Egito, que em 1980, foi fonte de 76,4% da energia bruta consumida nas áreas rurais, e na Índia onde o esterco bovino é manipulado como prática sagrada na preparação de combustível (MLEKU, 2009; ARNOLD e JONGMA, 1978). Porém, nos exemplos dados, o esterco é recolhido nos campos onde naturalmente perdem parte da água de sua constituição, (MLEKU, 2009).

É prática comum o armazenamento de biomassas em pátios para a redução da umidade, como no caso da madeira e bagaço de cana para energia (OLIVEIRA *et al.*, 2010; HOLANDA, 2011). Oshiro (2015) observou que conforme as condições climáticas o esterco depositado em ambiente natural pode chegar à umidade de 36% em 40 dias, mas em condições inadequadas pode causar eutrofização de fontes de água e poluição do solo (RIBEIRO *et al.*, 2007).

Os processos de secagem dos produtos agrícolas buscam preservar as características qualitativas e quantitativas, beneficiando também a biomassa para o uso industrial (AFONSO JR *et al.*, 2006; CALONEGO *et al.*, 2005). A pré-secagem de biomassa com mais de 55% de umidade pode ser realizada no próprio sistema de grelhas da combustão para sistemas de cogeração de pequena escala (de 1 a 5 MW) (ROCHA *et al.*, 2009).

Pioneiros em pesquisas de secagem, Campbell (1961) e Sharma & Bali (1969) avaliaram os efeitos da vaporização na madeira, processo praticado na Europa desde a metade do século 18 como etapa preliminar à secagem, concluindo

que o processo é eficiente na redução da umidade, no aumento da taxa de secagem e na permeabilidade da madeira, mas também pode causar degradação térmica, alterar a composição química e, conseqüentemente, a quantidade da energia liberada (SEVERO & TOMASELLI, 2000; HAYGREEN & BOWYER, 1996).

O conteúdo de água presente na biomassa influencia negativamente na produção de calor por unidade de massa. Quanto maior o teor de umidade menor será o poder de combustão, pois a evaporação de umidade absorve a energia do processo, podendo elevar os custos industriais (MÜLLER, 2007). Descontando-se a umidade restam os sólidos totais da matéria que, para o esterco bovino, pode variar entre 11% a 17% (OSHIRO, 2015; KONZEN, 1999).

As soluções para a conversão de resíduos animais em energia térmica e elétrica devem considerar seus usos e benefícios, diretos e indiretos como: disponibilidade de matéria prima, preço, eficiência, redução da pressão local por recursos florestais, melhoria na qualidade de vida, geração de novas atividades econômicas, fortalecimento industrial e redução do êxodo rural. Independente da origem ou destinação, o uso de biomassas residuais tem oferta localizada e, portanto, as alternativas devem apresentar custos competitivos, decorrentes de cenários econômicos regionalizados, com atenção sobre as variáveis macroeconômicas e microeconômicas (emprego e renda) (BLEY JR *et al*, 2009; CARDOSO, B.M., 2012).

No caso dos aspectos econômicos da utilização do esterco bovino, o mesmo é um resíduo cuja utilização tem se restringido à substituição de adubos orgânicos devido à alta umidade. Vários países buscam por melhores tecnologias, redução dos prejuízos ambientais e melhor uso do esterco bovino como matéria prima em processo de combustão (LORIMOR & SUTTON, 2004), porém as tecnologias existentes demandam custos impraticáveis no mercado nacional.

O esterco também apresenta muitas variações de sua composição o que altera suas características energéticas e o custo auferido para sua utilização. Outro ponto de difícil de avaliação do esterco para energia situa-se na possibilidade de valoração do esterco em seu valor intangível, decorrente dos benefícios ambientais da não disposição inadequada do mesmo (MOTTA, 1997).

Machado (2010) pesquisou o uso do processo de gaseificação da biomassa em leiterias para a coprodução de energia elétrica, demonstrando que o processo é promissor em seu objetivo, podendo proporcionar vantagens econômicas com a

venda da energia excedente e ambientais com a correta disposição e uso de resíduos. Porém, salienta que há ainda riscos a serem suplantados principalmente em função da heterogeneidade da biomassa e, por tratar-se de equipamento adaptado para a função, não há dados sobre o comportamento do equipamento e sua manutenção com o uso desse tipo de biomassa ao longo do tempo.

Ferreira *et al* (2014) concluíram que a secagem de resíduos em secador de biomassa do tipo leito fluidizado utilizando-se os gases quentes da caldeira é viável com o retorno do investimento em 2,65 anos em função da redução de custo de cavaco para indústrias de papel. Segundo Braga (1995), para investimento em novos projetos deve-se avaliar que a grande concorrência entre empresas necessita que estas se mantenham tecnologicamente atualizadas, de forma que os acréscimos tecnológicos e em ativos fixos reduzam os custos de produção, aumentem os lucros, garantam a qualidade dos produtos e assim se obtenham efeitos prolongados sobre a vida da empresa (BRAGA, 1995).

O esterco é tratado como um passivo ambiental em uma atividade produtiva cuja lucratividade é muito comprometida em virtude do alto custo de produção (CEPEA, 2014). A pecuária leiteira, como outras produções pecuárias, depende de commodities importantes como a soja e o milho, sofrendo grande influência em sua rentabilidade. Dessa forma, para o produtor, a valoração do esterco auxilia na redução dos custos e consequentemente no aumento da renda. Por outro lado, para o consumidor, considerando que o leite é um alimento importante da base da pirâmide alimentar, a incorporação dos custos ambientais no preço representa uma despesa que ele pode não estar disposto a pagar.

Back & Leismann (2015) estudaram a disponibilidade dos consumidores a pagar um percentual maior por serviços que utilizem fontes renováveis de energia o que resultou na observação de que alguns consumidores, preocupados com questões ambientais, se dispõem a pagar por um diferencial ecológico em relação a energia renovável. Já Nascimento *et al.* (2013), considerando a importância dada à energia elétrica, verificaram que os indivíduos têm disposição a pagar por um serviço hipotético de restabelecimento imediato de energia.

### 9.2.2 Levantamento de dados

Para esta análise realizou-se o estudo de caso de uma cooperativa, CAPAL Agroindustrial, localizada em Arapoti – PR. A empresa localiza-se em uma região de grande produção leiteira, recebe e comercializa o leite de seus produtores associados com outros laticínios da região e conta com uma fábrica de ração com a produção atual de 125 mil toneladas por ano, com expansão em 2016 para 320 mil toneladas por ano.

Para o atendimento à expansão da unidade fabril a empresa tem a expectativa do consumo de 7.338 m<sup>3</sup> de madeira de eucalipto por ano para uso energético nas caldeiras. Este consumo pode, tecnicamente, ser substituído pelo excedente de esterco produzido pelas 6000 vacas em lactação das fazendas associadas à cooperativa que têm a média de geração total de 336 toneladas de esterco por dia. Os dados referentes à qualidade e quantidade de esterco necessário para tal substituição foram coletados de Oshiro (2015).

Para esta análise foram recolhidos dados de investimentos e eficiência técnica de um equipamento para pré-secagem do esterco produzido pela empresa EcoProducts em parceria com a EMG do Brasil, situadas em Araucária-PR. O equipamento de vaporização utilizado para esta pesquisa teve por critérios de eleição: facilidade e tempo de processamento, preço do equipamento e, principalmente, a disponibilidade da empresa para a realização de ensaios e fornecimento de dados.

#### **Descrição do equipamento de vaporização**

Para o cenário montado para a análise estabeleceu-se a instalação de uma unidade fixa de vaporização para o esterco, instalada na sede da empresa. O resíduo entregue na empresa é acondicionado em silo para material úmido e através de sistema de automação chega ao vaporizador onde é processado e levado seco a outro silo de armazenagem.

Os valores foram adequados de acordo com o cenário e fluxo de processamento, em conformidade com o fluxo de produção da empresa.

As unidades de vaporização (Figura 1) são compostas de triturador e sistema de aquecimento com ventilação, acoplados com os seguintes equipamentos periféricos: sistemas de automatização e silos de armazenamento. Os dejetos

(matéria prima) podem ser dispostos em alimentação contínua, em granulometria e umidade variável (menor que 98%), resultando em matéria seca com até 15% de umidade.

Considerações:

- O equipamento ocupa barracão coberto de 22m<sup>2</sup> e área externa ocupada pelos silos e esteiras transportadoras de aproximadamente 100 m<sup>2</sup> já contando com a área de circulação;
- Silos metálicos equipados com rosca varredora, sistema de ventilação e piso, considerado o estoque de segurança de 3 dias tanto para o esterco verde quanto para o esterco a 15% de umidade;
- Utilização de motor de 120 cv – consumo de 80 kwh de energia elétrica;
- Alimentação de sistema de aquecimento: 200 kg/hora de cavaco ou 100 kwh de energia elétrica ou 40 kg de gás;
- Uso de mão de obra de dois operadores;
- Capacidade de processamento de 6 toneladas por hora com pré-aquecedor.
- Processamento diário de 117.603 kg, ou 126 m<sup>3</sup>, de esterco “verde” por dia, definido como sendo o esterco recolhido das esterqueiras nas condições encontradas, com a expectativa de obtenção de 19.370 kg, ou 82 m<sup>3</sup>, de esterco à 15% de umidade para a queima nas caldeiras.

### 9.2.3 Análise de custo do esterco para energia com a utilização de equipamento de vaporização

A existência de custo é consequência direta da produção, e assim sendo, a análise de custo é uma ferramenta que permite a avaliação econômica individual de cada atividade desenvolvida por uma empresa e a adoção de estratégias efetivas para aumentar o lucro (CUNHA, 2007; SILVEIRA *et al.*, 2012).

Adotou-se como forma de avaliação econômica a análise de custo do esterco para energia por se tratar de um possível insumo na produção de ração da empresa e para que a empresa tenha uma base comparativa entre o custo da madeira para energia e o esterco. A taxa de juros considerada para os cálculos

corresponde a 1,05% ao mês (12,6% ao ano), representada pela média ponderada da taxa SELIC de 2015.

O resultado demonstra o custo total mensal da opção de um investimento para o aproveitamento do esterco como energia, o que permite o cálculo do valor da kcal/kg do esterco para ser comparada com a energia fornecida pela madeira.

A empresa fabricante do vaporizador forneceu os valores gerais de investimento do equipamento e de periféricos com base em setembro/2015. Os mesmos estão descritos na TABELA 9-1. Outros orçamentos foram obtidos através de solicitações por correio eletrônico.

**TABELA 9-1 – RELAÇÃO DE INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTO DE VAPORIZAÇÃO.**

Sistema de vaporização de resíduos – instalação fixa		
Relação de investimentos		Preço médio (R\$)
1.	Galpão industrial R\$ 636,00/m <sup>2</sup>	R\$ 14.000,00
2.	Equipamento de vaporização, serviços e montagem	R\$ 720.000,00
3.	Sistema de automação e transporte	R\$ 96.000,00
4.	Silo de armazenagem esterco úmido	R\$ 37.000,00
5.	Silo de armazenagem esterco seco	R\$ 27.000,00
6.	Pré secador	R\$ 180.000,00
Total de investimento		R\$ 1.074.000,00

As variáveis de custo utilizadas encontram-se listadas na Tabela 9-2:

**TABELA 9-2 – DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS**

Custos fixos	
CF1	Depreciação de instalações (galpão + silos metálicos par estoque)
CF2	Depreciação de equipamentos (vaporizador, sistema de automação e pré-secagem)
CF3	Custo de seguros
CF4	Custo da área ocupada
CF5	Custos administrativos
CF6	Custo de capital sobre o investimento
Custos variáveis	
CV1	Custo com combustível e lubrificantes
CV2	Custo de salários
CV3	Manutenção equipamentos
CV4	Custo do esterco

### **Depreciação: Equipamento e instalações**

O custo dos equipamentos e instalações tiveram por base os valores fornecidos pelo fabricante do vaporizador e através de pesquisa de mercado tendo a depreciação calculada pela metodologia do CARC - Custo anual de recuperação de capital (SIMÕES *et al.*, 2013), que representa a depreciação adicionada dos juros no período, conforme Equação 9-1.



$$CARC = \frac{(C-R)}{\left[\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}\right]} + Ri \quad \text{Equação 9-1}$$

Em que:

$C$  = Custo inicial;

$R$  = valor residual ou valor recuperável no fim da vida útil do bem;

$n$  = Tempo de vida econômica em anos;

$i$  = Taxa de juros (atratividade) ao ano.

Considerou-se: conforme sugerido por CONAB (2010) a vida útil dos equipamentos de 10 anos e 20% o percentual de valor residual, e vida útil de 40 anos com 20% de valor residual para o barracão industrial e silos.

### Custo de seguro

Para o cálculo desta análise econômica foi considerado o valor de seguro sobre o valor do maquinário utilizado na atividade de secagem e armazenagem do esterco para energia à alíquota de 3% ao ano conforme sugerido pela FAO (1974) apresentado na Equação 9-2. Considerando que a empresa possui um seguro geral que é diluído no custo dos produtos finais.

$$C_{seg} = V_i \times 3\% \quad \text{Equação 9-2}$$

Em que:

$V_i$  = Valor inicial dos equipamentos

### Custo de área ocupada pelo estoque/m<sup>3</sup>

Área ocupada pelo barracão do vaporizador e áreas ocupadas pelos silos.

$$C_{\text{áreas}} = (S \times \text{Preço médio do m}^2) + IPTU \text{ proporcional} \quad \text{Equação 9-3}$$

Em que:

$S$  = Área ocupada pelas instalações e silos em m<sup>2</sup>

$\text{Preço médio do m}^2$  = Preços médios de mercado para locação/m<sup>2</sup> (R\$ 4,81/m<sup>2</sup> valor em imobiliária para barracão ao lado da empresa);

$IPTU$  = 1% do valor venal para imóveis edificados e 2% para imóveis não edificados.

### Custos administrativos

Os custos administrativos referem-se às operações indiretas realizadas para a produção, calculados por adaptação da metodologia de Silva Reis e Constante (2011), considerando os custos administrativos em 4% dos custos logísticos de transporte e armazenagem, expresso em custo unitário.

$$C_{adm} = (CF + CV) \times 4\% \quad \text{Equação 9-4}$$

Em que:

$CF$  = Custo fixo de processamento do esterco (R\$/mês)

$CV$  = Custo variável para o processamento do esterco (R\$/mês).

### Custo de capital

O cálculo do custo de capital seguiu a metodologia citada por Silva Reis & Constante (2011):

$$CC = \sum E_m \times V_m \times i \quad \text{Equação 9-5}$$

Em que:

$CC$  = custo de capital (R\$/mês)

$E_m$  = Quantidade de esterco consumido em kg em um mês (consumo esterco/mês)

$V_m$  = Valor médio por kg esterco base úmida (preço de compra) da mercadoria no período  $i$  (R\$/m³)

$i$  = taxa de juros. Os juros considerados remuneradores do capital próprio foram de 1,05% ao mês, considerando a média ponderada da taxa SELIC em 2015.

Utilizando-se os dados obtidos por Oshiro (2015) do preço de valoração do esterco para energia em comparação com o equivalente à madeira de R\$ 0,08/kg de esterco seco, resulta no valor de R\$ 0,01/kg de esterco em base úmida. Considerou-se este valor como o preço por kg a ser pago pelo esterco entregue na empresa.

### Custo de combustível e lubrificantes

O custo de combustíveis e lubrificantes usados por hora efetiva foi calculado conforme sugerido por Silva *et al.* (2010) e adaptado para este trabalho.

$$C_{cl} = C_c + C_{lg} + C_{oh} + C_{EE} + C_b \quad \text{Equação 9-6}$$

Considerou-se o consumo energético do vaporizador e equipamentos acessórios de 4 litros de óleo diesel por hora, 80 kWh e 200 kg de biomassa, ao preço de set/2015, com funcionamento 24 horas em alimentação automatizada.

$$C_c = Pc \times C \quad \text{Equação 9-7}$$

$$C_{lg} = 0,30 \times C_c \quad \text{Equação 9-8}$$

$$C_{oh} = 0,5 \times C_c \quad \text{Equação 9-9}$$

Em que:

$C_c$  = custo de combustível por hora efetiva

$Pc$  = Preço do combustível (diesel)/litro (R\$ 4,00/l)

$C$  = Consumo de óleo diesel/ hora de trabalho (4 litros/hora)

$C_{lg}$  = Custo de lubrificante e graxas/hora efetiva

$C_{oh}$  = Custo com óleo hidráulico/hora efetiva

$C_{EE}$  = Consumo energia elétrica kWh

$C_b$  = Consumo biomassa (Preço x quantidade diária)

### Salários – tratorista e ajudantes

Os valores de salários incluem o valor principal e todos os encargos e benefícios que recaem sobre o mesmo. A base salarial praticada pela empresa é de R\$ 950,00/mês para operador sobre o qual incidem o acumulado de 68,17% de encargos. Os salários podem ser calculados por:

$$Sal = Salário + (salário \times 68,17\%) \quad \text{Equação 9-10}$$

Em que:

$Sal$  = salário em R\$/m<sup>3</sup>

Quantidade de insumo utilizado no mês refere-se ao total de esterco entre caldeira e secadores abastecidos.

### Manutenção dos equipamentos

A manutenção dos equipamentos por ano compreende as atividades de reparos, consertos e reposição de peças que recaem sobre o uso, calculados ao custo de 70% do valor da depreciação conforme citado por Silva *et al.* (2010).

$$Man_{eq} = 0,70 \times Dep \quad \text{Equação 9-11}$$

### Custo do esterco

O custo do esterco é dado pelo produto da quantidade de esterco que é vaporizado em um mês e o preço valorado (OSHIRO, 2015).

## 9.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Custo do esterco para energia

O resumo dos valores obtidos pode ser visualizado na Tabela 9-3.

**TABELA 9-3 – VALORES DE CUSTO DO ESTERCO PARA ENERGIA**

<b>Custos fixos</b>		<b>R\$/mês</b>	<b>% CT/mês</b>
CF1	Depreciação de instalações	5.360,00	2,85
CF2	Depreciação de equipamentos	14.128,00	7,52
CF3	Custo de seguros	2.490,00	1,32
CF4	Custo da área ocupada	587,00	0,31
CF5	Custos administrativos	7.225,00	3,84
CF6	Custo de capital sobre o investimento	37.045,00	19,72
TOTAL Custos fixos		66.835,00	35,6%
<b>Custos variáveis</b>			
CV1	Custo com combustível e lubrificantes	68.861,00	36,67
CV2	Custo de salários	3.192,00	1,70
CV3	Manutenção equipamentos	13.642,00	7,26
CV4	Custo do esterco	35.281,00	18,79
TOTAL Custos variáveis		120.976,00	64,4%
CUSTO TOTAL/mês		187.811,00	

O custo oportunidade representado pelo custo de capital sobre o investimento é expressivo em face do alto investimento nos equipamentos e instalações (R\$ 1.074.000,00) para o processamento de até 144 toneladas de esterco por dia.

A distribuição dos custos totais do esterco para energia, considerando o investimento no equipamento vaporizador apresentado, aponta que o maior peso recai sobre o custo dos combustíveis e lubrificantes que são utilizados pelo sistema.

Porém, considerou-se o consumo de 200 kg de cavaco para energia por hora ao preço de R\$ 0,15/kg. A quantidade equivalente de esterco verde que, após a vaporização, pode substituir as calorias do cavaco por kg teria um preço máximo de R\$ 0,10 (10,7 kg de esterco a 14% de umidade no recebimento). Caso seja substituído o cavaco pelo próprio esterco perfaz uma economia de R\$ 6.192,00/mês, o que reduziria o custo de combustíveis e lubrificantes para 26% do custo total com o aumento para 28% do custo total o valor pago pelo esterco aos produtores.

O cálculo considerou também a necessidade energética da empresa na substituição da madeira, equivalente ao processamento de 117.503 kg de esterco verde por dia. O uso da capacidade plena do equipamento aumenta em 6,5% o custo variável em função do aumento do custo do esterco, com a sobra de 3.696 kg de esterco seco que pode ser utilizado ou comercializado.

Uma vez que o consumo de calor mensal para a alimentação das caldeiras é de 1.404,74 Gcal/mês, tem-se que o custo unitário do esterco para energia nessas condições é de R\$ 133,70/Gcal. Operando o vaporizador a pleno emprego o custo unitário cai para R\$ 113,79/Gcal.

Oshiro (2015) obteve o valor de R\$ 122.865,50 como o custo total de armazenagem de madeira por mês, nas mesmas condições desta pesquisa, considerando o PCI da madeira em 3106 kcal/kg. Comparativamente, o custo unitário da madeira para energia é de R\$ 87,46/Gcal, menor que o custo do uso energético do esterco.

O equipamento de vaporização se demonstrou eficiente na redução da umidade do esterco e de outras biomassas, podendo reduzir de 98 para 15 % de umidade de qualquer resíduo. Salienta-se que mesmo tendo demonstrado um maior custo por unidade energética outras perspectivas de análises devem ser contempladas, incluindo os aspectos intangíveis das análises de valoração ambiental. Pois como descrevem Afonso Jr. *et al.* (2006) que há uma tendência real de que as empresas busquem por diferentes alternativas de fontes de energia para reduzir os impactos ambientais e econômicos, mas que isoladamente os aspectos econômicos não são mais determinantes para a seleção de projetos de investimentos.

Como exemplo o relato de Foged (2012) sobre as atitudes do governo dinamarquês para solucionar os problemas ambientais (contaminação do meio ambiente pelo uso de fertilizantes químicos) que buscou harmonizar as áreas de cultivo com o número de animais e a capacidade de armazenamento do esterco nas fazendas, e instituiu a utilização de até 50% do esterco para a geração de energia através dos processos de biodigestão, pirólise, gaseificação ou combustão.

Verificando o esterco como custo “0” para a cooperativa, se os produtores entregassem sem custo o esterco apenas como uma melhor destinação econômica-ambiental para o resíduo, o custo energético unitário seria de R\$ 87,85/Gcal, equivalente ao preço pago pela madeira.

Um ponto importante na utilização do esterco como biomassa justamente se relaciona aos aspectos ambientais da deposição do mesmo, principalmente quando há um excedente de produção de resíduos em contraponto a condições de capacidade de suporte do solo para receber o esterco como fertilizante. Nesse aspecto, a logística da biomassa tem sido um fator bastante estudado em muitos países que buscam soluções para reduzir o custo de coleta, transporte e pré-tratamento, visto que o alto custo dessas etapas pode inviabilizar qualquer tecnologia proposta para seu uso energético (JONATHAN, 2013).

Nesta pesquisa não foi incluso o compactador para a densificação do esterco na forma de pellets ou briquetes, embora testes isolados realizados com carga de 600-700 kg/m<sup>3</sup> em temperatura de 80-100°C tenham demonstrado que o processo é viável mesmo sem a adição de ligantes. Esses testes não foram aprofundados em virtude do uso contínuo da biomassa na própria empresa.

Segundo Vidal e Hora (2011) os custos mais relevantes para a produção de pellets são os insumos e o preço de secagem, que respondem por até dois terços do custo total, o qual, dependendo do teor de umidade, tecnologia e escala da planta a secagem pode chegar a 86% do custo total. Se a empresa tivesse como objetivo a produção do esterco para energia e o investimento fosse para a produção em escala o investimento em processo de compactação reduziria os custos logísticos de armazenamento e transporte.

#### 9.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO

A tecnologia de vaporização, assim como outras tecnologias para a secagem de resíduos, ainda apresenta um alto custo de investimento quando se considera a valoração do resíduo como parte da análise de custos.

Os resultados apontaram que o custo energético unitário do esterco para energia vai variar de R\$ 133,70 a R\$ 113,79 por Gcal, após o processamento no vaporizador, o que é conflitante com o uso da madeira para energia onde esse custo é de R\$ 87,46/Gcal.

A realização desta pesquisa foi dificultada pela falta de dados comparativos para a análise econômica e em função dos poucos conhecimentos publicados sobre o uso energético do esterco dentro da realidade de manejo no Brasil. Recomenda-se que novos estudos sejam realizados com os parâmetros de custo citados e em diferentes tecnologias.

#### 9.5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPAL AGROINDUSTRIAL e ECOPRODUCTS/EMG DO BRASIL pelo apoio à realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AFONSO JR, P.A. *et al.* Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. **Eng. Agríc.**, v.26, n.1, p.28-35, Jaboticabal, jan/abr, 2006.

ALVIM, L.A.C. *et al.* Potencialidades de aproveitamento de resíduos da bovinocultura. In: **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**; AIDIS. Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio. Rio de Janeiro, ABES, 1999. Disponível em: <[http:// http://goo.gl/V7R8hL](http://http://goo.gl/V7R8hL)> Acesso em 14/05/2011.

ANSI/ASAE D384.2. ANSI Standards. **Manure Production and Characteristics. American society of agricultural engineers.** ASAE – The society for engineering in agricultural, food and biological systems. USA, março 2005.

ARNOLD, J.E.M. & JONGMA, J. Fuelwood and charcoal in developing countries: An economic survey. In: 8º Congresso Florestal Mundial, **Unasyuva**, v.29, n.118, p.2-9. Setembro, 1978. Jacarta, Java.

BACK, V.T. & LEISMANN, E.L. Energias sustentáveis: propensão dos consumidores em pagar a mais por produtos ou serviços que se preocupam com o meio ambiente. In: **I CINGEN** – Conferência Internacional em Gestão de Negócios 2015. Cascavel, PR, 16 a 18 de novembro de 2015.

BLEY JR, C. *et al.* **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais.** 2ª ed. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. TechnoPolitik Editora, 2009.

BRAGA. R. **Fundamentos e técnicas de administração financeira.** Editora Atlas S. A., 1ª Edição. São Paulo, 1995.

CALONEGO, F.W. *et al.* Efeito da vaporização no poder calorífico de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e ambiente**, v.12, n.1., p. 30-35, 2005.

CAMPBELL, G. S. The value of presteaming for drying some collapse-susceptible *Eucalypts*. **For. Prod. J.** , v.11, n.8, p.334-337, 1961.

CAMPOS, A.T. **Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite.** Tese. Doutorado. Programa de Pós Graduação em Agronomia da UNESP. Botucatu - SP, 1997.

CARDOSO, B.M. Uso da biomassa como alternativa energética. **Escola Politécnica UFRJ**, Rio de Janeiro, 2012.

CEPEA-ESALQ. Custos de produção pecuária de leite. **Informativo CEPEA** – Análise trimestral, edição nº 35, setembro/2014. Coordenação Prof. Dr. Sergio De Zen. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>> Acesso em: 21/01/2015.

CHIRAG, K.M. *et al.* Smoldering Combustion of Biomass Particles. **Journal of Applied Sciences**, 11: 1862-1866, 2011.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Custos de produção agrícola**: a metodologia da CONAB. Brasília, 2010

CUNHA, A.S. **Análise de custos** – livro didático. 2ª Edição, 170 pg; Palhoça – SC: UnisulVirtual, 2007.

FAO – Food and agriculture organization of the United Nations. **Logging and log transport in tropical high forest**. FAO Forestry development paper. Rome, 1974.

FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de Bracatinga (*Mimosa scrabella*, Benth) e aspectos gerais de combustão. Curitiba: **Série Técnica**, FUPEF, 1981. 14p.

FERREIRA, I.T.M. *et al.* Estimativa do potencial energético de resíduos celulósicos de fabricação de papel através de análise imediata. **Revista brasileira de energias renováveis**, v.3, p. 284-297, 2014.

FOGED, H. L. Livestock Manure to Energy – Status, technologies and innovation in Denmark. **Agro Business Park A/S**, December, 2012. Dinamarca. Disponível em: <<http://goo.gl/UdFqMv>> Acesso em 23/09/2014.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. Forest products and wood science: an introduction. **Iowa State University Press/AMES**, 1996. 484p.

HOLANDA, L.R. **Análise da viabilidade econômica da energia elétrica gerada através das microalgas**. Dissertação (mestrado). Programa de pós graduação em engenharia da produção da Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2013**. Volume 41, p. 1-108. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 19/01/2015

JONATHAN, A. Projeto desenvolve energia a partir da gaseificação de biomassa. In: **Ciência e Tecnologia**. Ano:46, Ed.nº120. 2013.

KONZEN, E. A. Manejo e utilização de esterco de bovinos. EMBRAPA. **Comunicado Técnico nº14**, dezembro/1999. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, Sete Lagoas – MG. Dezembro, 1999.

KONZEN, E. A. & ALVARENGA, R. C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agrônômicos e ambientais. EMBRAPA, **Circular técnica nº 63**. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, Sete Lagoas – MG. Dezembro, 2005.



LORIMOR, J. & SUTTON, A.L. Manure characteristics – Manure management systems series. **MidWest Plan Service MWPS-18**, Section 1. 2ª edição. Iowa State University, USA, 2004.

LUCAS, J.J.; SILVA, F.M. Biogás, produção e utilização. **Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias**. Jaboticabal, 2005, 8p.

LUCAS JR., J. & AMORIM, A.C. Manejo de dejetos: fundamentos para a integração e agregação de valor. **Anais do ZOOTEC' 2005** – 24 a 27 de maio de 2005, Campo Grande – MS.

MACHADO, R. **Burning manure as na economical energy source**. Faculty of the dairy science department. California polytechnic state university, 2010.

MLEKU, D. The materiality of dung: the manipulation of dung in Neolithic Mediterranean caves. UDK 903.28,14(292.46)"633\634">636. **Documenta Praehistorica XXXVI** (2009). Disponível em: < <http://goo.gl/wGeGS7> > Acesso em: 3/9/2013.

MOTTA, R.S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. IPEA/MMA/PNUD/CNPq Rio de Janeiro, setembro de 1997

MÜLLER, T.S. **Redução do Consumo de Energia Elétrica no Processo de Secagem de *Pinus taeda***". Monografia. Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

NASCIMENTO, L.G. *et al.* Aplicação do método de valoração contingente para estimar a disposição a pagar pelo restabelecimento imediato de energia elétrica em Pernambuco. In: **VIII SOBER Nordeste** – Sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Parnaíba, 6 a 8 de novembro de 2013.

OLIVEIRA, L.F. *et al.* Secagem de bagaço de cana obtido em duas condições diferentes de teor de umidade. In: **XIX Congresso de pós-graduação da Universidade Federal de Lavras**, 27 setembro a 1 de outubro, 2010.

OSHIRO, C.R. **O esterco bovino como biomassa alternativa para produção de energia em cooperativa agroindustrial paranaense**. Tese. Doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

QUIRINO, W.F. *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira** nº 89, p.100-106, 2005. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/cadastro.php>> Acesso em 18/05/2012.

REZENDE, M.A. *et al.* Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **IPEF**, n.39, p.33-40, ago.1988.

RIBEIRO, G. M. *et al.* Efeito da fonte protéica e do processamento físico do concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos dejetos. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 36, n. 6, supl. Dec. 2007. Disponível em: < <http://goo.gl/HkFxe6> > Acesso em 11/01/2013.

ROCHA, E. P. A. *et al.* Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima em alto-forno. In: **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação científica**. Uberlândia, MG. 2009.

SERIO, M.A. *et al.* Pyrolysis processing of animal manure to produce fuel gases. Advanced fuel research, inc. **Fuel Chemistry Division Preprints** 2002, 47(2), 588; USA. On line. Disponível em: <https://goo.gl/3ChkRZ> Acesso em: 29/3/2014

SEVERO, E.T.D. & TOMASELLI, I. Efeito da vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de duas procedências de *Eucalyptus dunnii*. **Sciencia Agraria**, v.1, n.1-2, p.29-32, 2000.

SHARMA, S N. & BALI, B. L. Effect of presteaming on the drying rates in subsequent seasoning of green and refractory hardwood. **Indian Forest Bull.** N.258, Forest Res. Inst., Dehra Dun, India. 1969.

SILVA, J.C.P. *et al.* Esterco de gado leiteiro associado à adubação mineral e sua influência na fertilidade de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34:453-463, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>> Acesso em: 12/12/2013

SILVA REIS, M.A. & CONSTANCE, J.M. **Metodologia para cálculo dos custos logísticos associados ao fluxo de mercadorias**. Fundação Getúlio Vargas – EAESP Escola de administração de empresas de São Paulo. São Paulo – SP. Disponível em: <<http://eaesp.fgvsp.br/>> Acesso em: 15/01/2015.

SILVA, J.S. *et al.* Tecnologia de secagem e armazenagem para a agricultura familiar. **Publicado por UFV**, 1ª edição. Viçosa, 2005.

SILVEIRA, A. O. *et al.* Gestão de custos no setor açougue de uma cooperativa de consumo. **ABCustos**, v.7, n.3, p.1-24, set/dez. 2012

SIMÕES, D. *et al.* Análise da depreciação do forwarder com aplicação do custo anual uniforme equivalente. **Teckhne e Logos**, v.4, n.2. Botucatu-SP, 2013.

SWEETEN, J.M. *et al.* Cattle manure for energy production. **AgriLife Research**, Texas A&M System. USA, 2010. Disponível em: <<http://www.amarillo.tamu.edu>> Acesso em: 02/07/2014.

VIDAL, A.C.F. & HORA, A.B. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial**, nº 33. Março, 2011.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A presente pesquisa buscou contribuir com o meio ambiente através da produção de instrumentos capazes de indicar uma destinação alternativa aos resíduos da pecuária leiteira. Porém, foram observadas dificuldades tanto na obtenção de dados iniciais quanto a metodologias para a mensuração do quantitativo disponível do esterco enquanto biomassa energética, avaliação de tecnologias para o processamento e obtenção dos custos associados.

Por um lado o esterco é um passivo ambiental que tem sua valoração dado o seu uso na substituição de fertilizantes químicos, porém, vários estudos indicam que essa destinação somente tem efeito benéfico ao solo dependendo das condições do mesmo e do tempo em que a prática é realizada, podendo causar impactos ambientais em um horizonte ainda não contemplado pelas pesquisas. Ao produtor rural, entretanto, especificamente no caso do produtor de leite, o esterco poderia ter seu valor além do uso como fertilizante, auxiliando no aumento da rentabilidade de uma atividade cuja lucratividade é extremamente baixa.

Waldman & Elias (2013) atrelam as dificuldades da valoração ambiental aos dados e recursos disponíveis, principalmente em face da subjetividade dos parâmetros envolvidos, na dificuldade de se valorar bens intangíveis. Esta pesquisa considerou apenas os valores diretos de substituição do recurso em seu melhor uso, baseado em preços de mercado do fertilizante e de outras matérias energéticas. Ao resultado obtido devem ainda ser acrescentados os custos de secagem e logística, o que pode inviabilizar o uso do esterco, mesmo considerando suas características energéticas e de composição.

A valoração do esterco não tem por finalidade a externalização do passivo ambiental imposta a outros agentes econômicos, o que seria uma externalidade negativa, constituindo uma falha de mercado (MARTINS, 2015). Tem sim o foco de que ao auferir parâmetros de preço de mercado para o esterco bovino, seja como uso energético ou fertilizante, produzem-se ferramentas para a agregação de valor à cadeia produtiva do leite e estimula a busca por tecnologias mais acessíveis para a redução do passivo ambiental.

Os valores, nas condições deste trabalho, para o esterco bovino variaram entre R\$ 0,70 e R\$ 2,06 por kg e m matéria seca. Embora o resultado não seja

preciso pôde ser identificado que o esterco possui um valor monetário que deve ser pesquisado e explorado com mais acuidade.

Pode-se observar também que é necessário, para que exista um entrelaçamento entre a sustentabilidade ambiental e os sistemas produtivos, uma visão mais sistêmica das interações econômicas-ecológicas. Estas interações podem ser obtidas com o desenvolvimento de novos indicadores econômicos e ambientais, com políticas públicas de incentivo à otimização dos recursos produtivos na utilização de resíduos das atividades e desenvolvimento tecnológico, bem como em políticas de incentivos fiscais para a produção de combustíveis alternativos (OLIVEIRA JR, 2014; BERGER & GARLIPP, 1980).

Nesta pesquisa o esterco foi colocado em experimento de secagem natural depositado em caixas de fundo de tela para verificar a perda de peso. Porém, a metodologia não foi eficiente para permitir o devido tratamento estatístico. Pôde-se observar, entretanto, que o esterco se depositado em superfície drenada em ambiente natural pode chegar a aproximadamente 36% de umidade em 40 dias, mas sendo um material particulado e pouco denso, a água desce por gravidade e a matéria da superfície seca, criando crostas que mantêm a umidade retida em perfil mais próximo do solo. O esterco também se mostrou com alta higroscopia, recuperando a umidade após períodos de chuva.

Durante a triagem inicial para o planejamento desse trabalho foi realizada entrevista em indústria de equipamento para cogeração obtendo-se a informação de que seria possível a execução de uma planta para o vaporizador avaliado em que o desvio de calor poderia gerar energia suficiente para o parque fabril da cooperativa. Porém, haveria a necessidade de dados mais precisos do gasto energético da cooperativa e de detalhamentos do cogerador de energia para complementar a análise.

Outro ponto verificado na pesquisa é que as lagoas anaeróbicas utilizadas para a estabilização do esterco antes da aplicação como fertilizante podem ocupar grandes áreas dependendo do tamanho do rebanho e do tempo de retenção do esterco até sua utilização. Os custos da produção pecuária leiteira não contemplam os custos das áreas ocupadas por essas lagoas e as perdas de nutrientes decorrentes do tempo de retenção do esterco nelas (LORIMOR & SUTTON, 2004). Assim sendo, análises posteriores da cadeia produtiva do leite podem utilizar as

informações contidas neste trabalho para uma melhor alocação dos custos de produção.

Alguns cálculos, embora aparentemente simples, que foram utilizados para esta tese, não havia metodologias já consolidada para seu uso e em avaliação de metodologias utilizadas em trabalhos estrangeiros demonstraram discrepância em sua concepção e resultados. Como exemplo, na sequência é apresentado o detalhamento do custo de substituição do esterco.

Cálculo da quantidade de esterco equivalente à madeira consumida na cooperativa:

A expectativa de consumo de 7.338 m<sup>3</sup> de madeira de eucalipto por ano para uso energético nas caldeiras em atendimento à expansão da fábrica de ração da Cooperativa ocupará uma área de aproximadamente 1.427m<sup>2</sup> do pátio da fábrica. A densidade da madeira utilizada é de 517 kg/m<sup>3</sup> em base seca (OSHIRO, 2015), correspondente a 739 kg/m<sup>3</sup> quando corrigida para a umidade de 30%, calculada conforme estabelecido por Rezende *et al* (1988), que é a umidade média da madeira na combustão, em Poder Calorífico Inferior (PCI) de 3106 kcal/kg nesta umidade (OSHIRO, 2015). Através desses dados foi calculada a necessidade energética diária em kcal/dia e o volume necessário de esterco para atender a essa demanda.

As fazendas dos associados atendidos pela cooperativa contam com 6000 vacas em lactação que produzem a média de 56 kg de esterco por animal diariamente, perfazendo um mínimo de 336 toneladas de esterco por dia que pode ser aproveitado como fonte de energia para as caldeiras da fábrica de ração, desde que a umidade do esterco seja removida.

Para esta análise foram recolhidos dados de investimentos e eficiência técnica de um equipamento para pré-secagem do esterco. O equipamento de vaporização utilizado para esta pesquisa teve por critérios de eleição: facilidade e tempo de processamento, preço do equipamento e, principalmente, a disponibilidade da empresa fornecedora para o fornecimento de dados; produzido pela empresa EcoProducts em parceria com a EMG do Brasil, situadas em Araucária-PR.

Para a identificação inicial do investimento no vaporizador utilizaram-se os dados obtidos nesta tese (OSHIRO, 2015):

- Umidade do esterco “verde” (retirado das esterqueiras em umidade natural, como retirada) calculada a partir de amostras, seguindo as

recomendações da norma ABNT-NBR 7993/1983, com resultado médio de 86% de umidade em base úmida;

- PCI do esterco em 2844 kcal/kg em base seca;
- Densidade aparente do esterco mensurada através da adaptação da norma ABNT-NBR 14987/2003 (densidade aparente de cavacos), considerando o esterco em base seca, com valor médio de 208 kg/m<sup>3</sup>;
- A densidade aproximada do esterco verde usada para os cálculos volumétricos é de 933 kg/m<sup>3</sup> à umidade de 87% (CAMPOS 1997; LORIMOR & SUTTON, 2004), umidade próxima à obtida nesta pesquisa (OSHIRO, 2015). A densidade e umidade podem variar em até mais de 30% em função da genética do animal e dos sistemas de manejo empregado na fazenda, pois afetam a composição final do esterco e consequentemente as características energéticas.

O processo de vaporização reduz a umidade de 86% para 15% e dessa forma para o dimensionamento da unidade de processamento utilizaram-se os dados já citados para a madeira e esterco, calculando-se a quantidade de esterco equivalente ( $Me_{bs}$ ) a 0% de umidade conforme a necessidade calórica determinada pela quantidade de madeira a ser utilizada (Equação 1):

$$Me_{bs} = \frac{(Volm \times Dbm_{30\%}) \times PCI_{m30\%}}{PCI_{e0\%}} \quad \text{Equação 10-1}$$

Em que:

$Me_{bs}$  = Massa de esterco em base seca (kg/dia)

$Volm$  = Volume de madeira utilizada por dia (m<sup>3</sup>/dia);

$Dbm$  = Densidade básica da madeira (kg/m<sup>3</sup>);

$PCI_{m30\%}$  = PCI da madeira a 30% de umidade (kcal/kg);

$PCI_{e0\%}$  = PCI do esterco a 15% de umidade (kcal/kg).

Com a Equação 1, portanto, obteve-se a quantidade de esterco em base seca que pode fornecer a energia necessária à caldeira da empresa, o que resultou em 16.464,42 kg/dia. Porém, já foi citado que o equipamento vaporizador reduz a umidade a 15% e o esterco, na entrada do equipamento chega a 86% de umidade.

Sabendo-se, portanto, a massa de esterco em base seca, utilizou-se a equação sugerida por Moretto *et al* (2010) para saber a massa total correspondente,

na umidade de entrada e de saída do equipamento, para dimensionamento dos silos de armazenagem, dados pela equação:

$$Mt = \frac{Me_{bs}}{\left(\frac{TS\%}{100}\right)} \quad \text{Equação 10-2}$$

Em que:

***Mt*** = Massa total do esterco (kg/dia);

***Me<sub>bs</sub>*** = Massa do esterco em base seca (kg/m<sup>3</sup>);

***TS%*** = Teor de sólidos totais em % (sendo 14% para o esterco verde e 85% para o esterco após a vaporização).

Dessa forma, a massa total de esterco verde necessário para vaporização por dia é de 117.603 kg/dia o que resulta em aproximadamente 19.370 kg/dia de esterco a 15% de umidade.

Considerando que o volume de uma mistura é igual à massa da mistura dividida por sua densidade, tem-se que o volume ocupado pelo esterco verde por dia é de 126 m<sup>3</sup>/dia.

A massa total é a resultante da soma da massa do esterco seco com a massa de água. Ou seja, uma vez que a massa total do esterco a 15% é de 16.464 kg e a massa total nessa umidade é de 19.390 kg, conseqüentemente a massa de água correspondente é de 2.906 kg. O volume de água do esterco a 15% é de 2,9m<sup>3</sup> visto que a densidade da água é de 1.000kg/m<sup>3</sup>. Dado que o volume total é a soma do volume de água e o volume da matéria seca, sendo a densidade do esterco seco de 208 kg/m<sup>3</sup>, tem-se que o volume aproximado do esterco após a vaporização é de 82 m<sup>3</sup>/dia.

Deve ser salientado que o esterco proveniente das esterqueiras das fazendas leiteiras é um material extremamente heterogêneo por depender de muitas variáveis para sua composição, conforme já foi descrito por vários autores (HANSEN *et al.*, 1976; MOHSENIN, 1980; AHN, H.K. *et al.*, 2009). A essa variação das características do esterco também deve ser atribuída a dificuldade de se obterem parâmetros e metodologias de cálculo para a volumetria, encontrando-se em literatura diferentes métodos de cálculo e funções que levam a diferentes resultados. Observou-se também que algumas bibliografias consultadas também apresentaram alterações de unidades que poderiam passar despercebidas aos leitores como em Houkom (1974) e Begdouri & Goodrich (1992).

O resultado da volumetria do esterco após a vaporização tem um valor aproximado ao qual deveria ser contabilizado o volume de ar entre as partículas que não foi mensurado para este trabalho em função das dificuldades metodológicas.

Recomenda-se que novos estudos sejam realizados e em diferentes localidades e condições para o desenvolvimento de uma metodologia que possa atender aos aspectos de manejo utilizados no Brasil.

Novas pesquisas acerca de metodologias para refazer esse experimento devem ser realizadas, lembrando que não foram contemplados nesse trabalho a possibilidade de cogeração de energia e a compactação do material, o que permitiria a venda a outros mercados.

Observou-se que simples alterações de manejo com foco na redução da umidade dos resíduos gerados podem favorecer o aproveitamento energético com menor custo por não depender de inserção tecnológica. Dessa forma, pesquisas específicas quanto aos processos de secagem à nível das fazendas devem ser realizadas para que o esterco possa ser utilizado para energia.

Recomenda-se também que sejam realizadas análises da composição das cinzas do esterco, que não pôde ser realizado neste trabalho em função do alto custo das análises. Da mesma forma, não foi realizada a análise das emissões resultante do processo de combustão.

## REFERÊNCIAS

AHN, H.K. et al. Determination of thermal properties of composting bulking materials. *Bioresource Technology*, 2009. Disponível em: <<http://www.elsevier.com>> Acesso em: 23/10/2014.

BEGDOURI, A.A. & GOODRICH, P.R. Bulk density and thermal lproperties of Moroccan dairy cattle manure. *Bioresource Technology*, n.40, p.225-233, 1992.

BERGER, R.; GARLIPP, R.C.D. Síntese econômica da geração de vapor para uso industrial: madeira vs óleo combustível. *Série Técnica IPEF*, v.1, n.2, p.E1-E9, Piracicaba, Jul. 1980.

CAMPOS, A.T. Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite. Tese. Doutorado. Programa de Pós Graduação em Agronomia da UNESP. Botucatu - SP, 1997.



HANSEN, R. et al. Manure harvesting practices: effects on waste characteristics and runoff. Robert S. Kerr environmental research laboratory. U.S. Environmental protection Agency. Ada, Oklahoma, Dec., 1976.

HOUKOM, R.L. Thermal properties of beef manure. Master of science. Oklahoma State University, 1972.

LORIMOR, J. & SUTTON, A.L. Manure characteristics – Manure management systems series. MidWest Plan Service MWPS-18, Section 1. 2ª edição. Iowa State University, USA, 2004.

MARTINS, R. C. (2015). A classificação disciplinar no mercado dos enunciados ambientais. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, 30(87), 97-114. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.17666/308797-113/2015>> Acesso em 12/12/2015.

MOHSENIN, N.N. Thermal properties of foods and agricultural materials. Gordon and Breach, Science Publishers, Inc., 1980.

MORETTO, S.R.O. et al. Medidas da densidade do lodo proveniente de digestão anaeróbia. In: Anais VII Simpósio Interamericano de Biossólidos. 26 a 28 de outubro de 2010. Instituto Agronômico Campinas, 2010. Disponível em: <<http://www.infobibos.com>> Acesso em: 23/11/2015.

OLIVEIRA JR, C. J. F. *et al.* A agroecologia e os serviços ambientais. **Nature and Conservation**, Aquidabã, v.7, n.1, p.19-32, 2014.

REZENDE, M.A. *et al.* Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **IPEF**, n.39, p.33-40, ago.1988.

WALDMAN, R. L. & ELIAS, L. A. V. Os princípios do direito ambiental e o pagamento por serviços ambientais/Ecossistêmicos (PSA/PSE). **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo, v. 69, p. 53-73, jan. 2013.